

# **Décret du 5 décembre 2008 relatif à la gestion des sols**

## **Code Wallon de Bonnes Pratiques**

Version 02

### **Guide de référence pour L'Etude de Risques**

**PARTIE B : Evaluation des risques pour la santé  
humaine**



**DIRECTION GENERALE OPERATIONNELLE [DGO 3]**

**DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT**

**DEPARTEMENT DU SOL ET DES DECHETS - DIRECTION DE LA PROTECTION DES SOLS ET DIRECTION DE L'ASSAINISSEMENT DES SOLS**

## Explicatif des sigles adoptés, acronymes, et autres conventions de langage

ADI	<i>Acceptable Daily Intake</i> – Dose journalière acceptable
ATSDR	<i>U.S. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry</i> – Agence américaine pour l'Enregistrement des Substances Toxiques et des Maladies
AWAC	Agence Wallonne de l'Air et du Climat
BARGE	<i>Bioavailability Research Group Europe</i> – Groupe Européen pour la Recherche sur la Biodisponibilité
BCF	<i>BioConcentration Factor</i> – Facteur de bioconcentration
BD	Base de Données
BSN	Norme d'assainissement (BodemSaneringsNorm) du décret flamand (bodemsaneringsdecreet) du 22 février 1995
DGS	Direction Générale de la Santé (France)
DJA	Dose Journalière Admissible
DJT	Dose Journalière Tolérable
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> – Agence pour la Protection de l'Environnement
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI	Excès de Risque Individuel
ERR	Evaluation des Risques Résiduels
GIER	Groupe d'Intérêt en Etudes de Risques
IARC/CIRC	<i>International Agency for Research on Cancer</i> – Centre International de Recherche sur le Cancer
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (France)
InVS	Institut de Veille Sanitaire (France)
IPCS	<i>International Programme on Chemical Safety</i> – Programme International pour la Sécurité Chimique
IR	Indice de Risque
IRcc	Indice de Risque lié au contact cutané
IR <sub>organe-cible</sub>	Indice de Risque Global pour l'organe cible
IR-I	Indice de Risque d'Intervention
IRinh	Indice de Risque lié à l'inhalation
IRIS	<i>Integrated Risk Information Service</i>
IRor	Indice de Risque lié à la voie orale
IR-S	Indice de Risque Seuil
JRC	<i>Joint Research Centre</i> – Centre commun de recherche de la Commission européenne
LOAEL	<i>Lowest Observed Adverse Effect Level</i> - Dose minimale entraînant un effet indésirable observé

MCS-SH	Modèle Conceptuel du Site relatif à l'évaluation des risques pour la Santé Humaine
MFS	Modèle des Feux de Signalisation ( <i>Traffic Light Model</i> )
MG	« Menace Grave » selon la terminologie adoptée dans le « décret sols »
MRL	<i>Minimal Risk Level</i> – Niveau de Risque Minimal
NCEA	<i>National Centre for Environmental Assessment (USA)</i> – Centre National pour l'Evaluation Environnementale
NOAEL	<i>No Observed Adverse Effect Level</i> - Dose maximale sans effet indésirable observé
« normes »	Les standards numériques VR, VS et VI figurant à l'Annexe 1 du « décret sols »
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OEHHA	<i>Office of Environmental Health Hazard Assessment (USA)</i> – Office d'évaluation des risques de santé environnementale
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OVAM	<i>Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (Flandre)</i> – Société publique des déchets de la Région flamande
PE	Polyéthylène
PES	Particules En Suspension
PM <sub>10</sub>	Particules ( <i>Particulate Matter</i> ) d'un diamètre inférieur à 10 microns, en suspension dans l'air
RAIS	<i>Risk Assessment Information System</i> – Système d'Information pour l'Evaluation des Risques
RfD	<i>Reference dosis</i> – Dose de référence
RIVM	<i>Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Pays-Bas)</i> – Institut National pour la Santé et l'Environnement
sol	partie non saturée des terrains (Note : Cette définition diffère de celle du “décret sols” qui stipule que le “sol” inclut également l'eau souterraine)
TDI	<i>Tolerable Daily Intake</i> – Dose Journalière Tolérable
TPHCWG	<i>Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group</i> – Groupe de Travail définissant des critères pour les hydrocarbures pétroliers totaux
TTC	<i>Threshold for Toxicological Concern</i> – Seuil de Préoccupation Toxicologique
UBA	<i>Umweltbundesamt Germany</i> – Agence fédérale de l'Environnement (Allemagne)
UF	Facteur d'incertitude associé à une VTR donnée
VITO	<i>Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek (Flandre, Belgique)</i> – Institut Flamand pour la Recherche Technologique
VS <sub>nappe [volatilisation]</sub>	Valeur Seuil pour l'eau souterraine préventive des risques de volatilisation (en µg/L)
VT	Valeur Toxicologique
VTR <sub>inh</sub>	Valeur Toxicologique de Référence pour les voies par inhalation
VTR <sub>or</sub>	Valeur Toxicologique de Référence pour les voies orales
WHO	<i>World Health Organization</i> – Organisation mondiale pour la santé

## Table des matières

<b>1.</b>	<b>OBJECTIF DE L'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE .....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>CONCEPTS CLES RELATIFS A L'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE.....</b>	<b>8</b>
2.1	SOURCE .....	8
2.2	RECEPTEURS OU CIBLES .....	8
2.3	ZONE RECEPTEUR OU ZONE CIBLE .....	8
2.4	CONCENTRATION REPRESENTATIVE POUR L'APPLICATION DES METHODES ESR-SH ET EDR-SH .....	9
2.5	EXPOSITION, VOIES D'EXPOSITION ET D'ADMINISTRATION.....	10
2.6	MODELE CONCEPTUEL DU SITE RELATIF A L'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE.....	13
2.7	TOXICITE CHRONIQUE ET AIGUË .....	13
2.8	POTENTIEL DANGEREUX .....	13
2.9	DOSE D'EXPOSITION .....	14
2.10	BIODISPONIBILITE ORALE, BIOACCESSIBILITE.....	16
2.11	VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE (VTR).....	17
2.12	EXCES DE RISQUE INDIVIDUEL .....	19
2.13	INDICE DE RISQUE .....	20
2.14	EFFET DE MELANGE/ADDITIVITE .....	22
	2.14.1 <i>Effet de mélange</i> .....	22
	2.14.2 <i>Additivité des voies d'administration</i> .....	22
2.15	« MENACE GRAVE » DU POINT DE VUE DE LA SANTE HUMAINE.....	23
<b>3.</b>	<b>OUTILS POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE .....</b>	<b>28</b>
3.1	INTRODUCTION GENERALE .....	28
3.2	TABLEAU DE SYNTHESE .....	29
<b>4.</b>	<b>METHODOLOGIE.....</b>	<b>33</b>
4.1	PRESENTATION DES ETAPES GENERALES DE LA PROCEDURE .....	33
4.2	EVALUATION SIMPLIFIEE DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE (ESR-SH) .....	35
	4.2.1 <i>Principes et étapes générales de l'ESR-SH</i> .....	35
	4.2.2 <i>Méthode et outils pour l'ESR-SH</i> .....	38
	4.2.2.1 Etape 1 : analyse préliminaire et établissement du MCS.....	38
	4.2.2.2 Etape 2 : comparaison des concentrations représentatives en polluants aux valeurs limites de premier et deuxième niveau.....	41
	4.2.2.3 Etape 3 : Interprétation des résultats .....	45
	4.2.2.4 Etape 4 : Globalisation des résultats et définition des objectifs minimum d'assainissement .....	50
4.3	EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE (EDR-SH) .....	52
	4.3.1 <i>Principes et étapes générales de l'EDR-SH</i> .....	52
	4.3.2 <i>Méthode et outils</i> .....	55
	4.3.2.1 Etape 1 : détail du modèle conceptuel du site (MCS) pour l'EDR-SH et sélection des données et paramètres nécessaires au calcul des doses d'exposition .....	55
	4.3.2.2 Etape 2 : identification des dangers – définition des relations dose/réponse.....	66
	4.3.2.3 Etape 3 : évaluation des expositions.....	67
	4.3.2.4 Etape 4 : caractérisation des risques .....	73
	4.3.2.5 Etape 5 : Interprétation des résultats, conclusions et recommandations .....	83
	4.3.2.6 Etape 6 : Globalisation des résultats et définition des objectifs minimum d'assainissement pour la santé humaine au stade de l'EDR.....	99
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS AU TERME DE L'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE .....</b>	<b>100</b>

5.1	CONCLUSION GLOBALE DE L'ESR-SH .....	100
5.2	CONCLUSION GLOBALE DE L'EDR-SH .....	101
5.3	LIGNES DIRECTRICES POUR LA REDACTION DU VOLET RELATIF A L'EVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE .....	102
<b>6.</b>	<b>GLOSSAIRE.....</b>	<b>103</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>104</b>
<b>8.</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>106</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Choix des valeurs représentatives (Source : Tableau 5 du GREC - section 2.2.2.B.4) .....	10
Tableau 2 – Valeurs toxicologiques de référence – Unités les plus courantes selon les organismes nationaux/internationaux à l’origine des propositions de valeurs.....	18
Tableau 3 – Valeur d'Indice de Risque d'Intervention (IR-I) à retenir selon le type d'effet (« à seuil » ou « sans seuil ») pour les voies d’administration par ingestion (et contact cutané) et par inhalation.....	25
Tableau 4 – Synthèse des tâches, sous-tâches, outils et données requises dans le cadre de l’ESR-SH. ....	30
Tableau 5 – Synthèse des tâches, sous-tâches, outils et données requises dans le cadre de l’EDR-SH. ....	31
Tableau 6 – Valeurs limites de premier et de deuxième niveau pour l'ESR-SH reprises à l’Annexe B1.....	41
Tableau 7 – Composition des fractions globales d’hydrocarbures pétroliers.....	42
Tableau 8 – Synthèse des valeurs limites à retenir pour les hydrocarbures pétroliers .....	44
Tableau 9 – Voies d’exposition considérées dans les modules CSOIL et VOLASOIL du modèle d’évaluation des risques RISC Human <sup>®</sup> v. 3.3 .....	64
Tableau 10 – Composition des fractions globales exprimées en équivalent carbone (EC).....	74
Tableau 11 – Incertitudes liées aux évaluations des risques pour la santé humaine .....	83
Tableau 12 – Illustration en vue d’évaluer l’influence des hypothèses retenues pour l’évaluation des risques pour la santé humaine.....	84
Tableau 13 – Critères de comparaison et paramètres de calcul des Indices de Risque (IR) et des Indices de Risque Globaux (IRG, cf. § 2.15) .....	87
Tableau 14 – Critères de comparaison pour la détermination de la « menace grave » pour le mercure total (polluant « non mixte ») .....	91
Tableau 15 – Critères de comparaison pour la détermination de la « menace grave » pour les hydrocarbures pétroliers (polluants « non mixtes ») en présence et en l’absence de résultats issus d’un split aromatique/aliphatique. ....	94

## Liste des figures

Figure 1 – Illustration des voies d’exposition (Source : CBP N° 5 de la SPAQuE) .....	12
Figure 2 – Schématisation des deux paliers de l’ER-Santé humaine : l’ESR-SH (palier 1) et l’EDR-SH (palier 2)...	34
Figure 3 – Schématisation des quatre étapes de l’évaluation simplifiée des risques pour la santé humaine (ESR-SH) .....	37
Figure 4 – Logigramme décisionnel pour l’étape 1 d’analyse préliminaire de l’ESR-SH.....	40
Figure 5 – Logigramme pour l’interprétation générale des résultats relatifs au sol au stade de l’ESR-SH.....	46
Figure 6 – Logigramme pour l’interprétation générale des résultats relatifs aux eaux souterraines au stade de l’ESR-SH en fonction de son caractère exploitable ou non.....	47
Figure 7 – Déroulement d’une évaluation détaillée des risques pour la santé humaine (EDR-SH), pour une base d’évaluation (actuelle ou potentielle) donnée. ....	54
Figure 8 – Création d’un scénario d’exposition de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager dans RISC Human <sup>®</sup> v. 3.3.....	65
Figure 9 – Procédure de calcul des doses d’exposition dans RISC Human <sup>®</sup> v. 3.3 pour un scénario d’exposition prédéfini (cf. étape 1) de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager.....	69
Figure 10 - Illustration de l’onglet d’encodage des données dans l’outil <i>RAM-SES_Pollution_Analysis_Tool.xlsm</i> .....	78
Figure 11 - Illustration de l’onglet « Résultats EDR-SH_ZR_i » dans l’outil <i>Pollution_Analysis_Tool.xls</i> (les cellules grisées indiquent que la cible « enfant » n’est pas considérée).....	79
Figure 12 - Illustration de l’onglet « Résultats IRG_ZR_i » dans l’outil <i>Pollution_Analysis_Tool.xlsm</i> .....	80
Figure 13 – Illustration de la caractérisation des risques à l’aide du tableur de type Excel (usage résidentiel sans jardin potager avec une concentration de 10 mg/kg de cadmium). ....	82
Figure 14 – Logigramme décisionnel pour la détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et l’attribution d’une plage associée au niveau de risque au terme de l’EDR-SH.....	88
Figure 15 – Logigramme décisionnel pour la détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et l’attribution d’une plage associée au niveau de risque au terme de l’EDR-SH pour les hydrocarbures pétroliers. ....	95

Figure 16 – Logigramme décisionnel pour la détermination des conclusions opérationnelles au terme de l'EDR-SH..... 97



## 1. Objectif de l'évaluation des risques pour la santé humaine

L'évaluation des **risques** pour la santé humaine (ER-SH) constitue une des trois composantes de l'étude de risques au niveau de l'étude de caractérisation (article 44 du « **décret sols** ») et le cas échéant de l'analyse des **risques résiduels** (article 67 du « décret sols »). Elle détermine le niveau de risque encouru pour la santé humaine pouvant résulter d'une **exposition** à une **pollution du sol** et/ou des eaux souterraines en vue d'identifier une « **menace grave** » (au sens du « décret sols »), la nécessité et l'urgence de l'**assainissement**, ainsi que les objectifs minimum d'assainissement (permettant de supprimer la « menace grave » résultant d'une exposition pour la santé humaine) et les éventuelles mesures de sécurité et/ou de suivi à recommander pour protéger la santé humaine.

L'ER-SH doit être considérée comme un outil d'aide à la décision dans le processus de gestion des **sites** pollués. Elle a pour fonction d'offrir des projections précautionneuses relatives aux **effets** indésirables que les **polluants** mesurés dans les milieux environnementaux peuvent produire sur la santé humaine.

L'évaluation des risques pour la santé humaine a pour objectif d'estimer la dose à laquelle est exposé un **récepteur** et son impact sur celui-ci en utilisant :

- les données (mesures, configuration du site, (hydro)géologie...) disponibles les plus pertinentes concernant les sources, les cibles et les **voies d'exposition** ;
- des équations permettant le calcul de la **dose d'exposition** suite au transfert des polluants de la source vers le récepteur en fonction des scénarios d'exposition repris dans le **Modèle conceptuel du site** (MCS) (ces équations étant intégrées dans un logiciel de calcul) ;
- des données toxicologiques permettant l'interprétation des doses d'exposition susceptibles d'être perçues par un récepteur (cible humaine) donné.

Les principales mesures utilisées comme données d'entrée pour la réalisation de l'évaluation des risques pour la santé humaine sont les mesures des concentrations en polluants dans le **sol** et l'eau souterraine, mais elles peuvent également inclure des concentrations en polluants mesurées dans différents milieux ou vecteurs d'exposition tels que les légumes, les produits laitiers, les gaz du sol, l'air ambiant, etc. Ces mesures permettent de calculer les doses inhalées et ingérées par la cible humaine (doses externes).

L'étude des biomarqueurs ou biomonitoring et, par conséquent, la réalisation de mesures dans des échantillons biologiques (sang, urine, tissus) qui permettent d'obtenir des doses internes (doses de polluant après le passage des barrières biologiques) ne font pas partie du guide. Ces études trouvent plus particulièrement leur cadre dans les travaux d'expertise en toxicologie humaine et de suivi en matière de santé prévus pour être mis en œuvre lorsque – selon les procédures d'interface environnement-santé prévues en Région wallonne<sup>1</sup> – des risques pour la santé sont objectivés pour les populations riveraines des sites pollués.

Le guide présente tout d'abord les concepts clés relatifs à l'évaluation des risques pour la santé humaine, puis décrit les méthodes et les outils disponibles pour la réalisation du premier palier (Evaluation Simplifiée des Risques, ESR-SH) et du deuxième palier (Evaluation Détaillée des Risques, EDR-SH) de l'évaluation des risques pour la santé humaine.

---

<sup>1</sup> cf. arbre décisionnel relatif à la procédure d'évaluation et de communication des risques environnement-santé et de gestion du risque toxicologique et sanitaire (Notification du Gouvernement wallon du 9 février 2006).

## 2. Concepts clés relatifs à l'évaluation des risques pour la santé humaine

Les méthodes présentées aux sections 3 et 4 de la partie B du GRER font appel à un certain nombre de concepts clés et notions spécifiques, dont certains sont définis à l'article 2 du « décret sols », et d'autres sont issus du rapport rédigé par l'INERIS (2009). Les concepts clés les plus particulièrement utiles pour la compréhension du texte sont détaillés ci-dessous.

Une liste de termes spécifiques et leur définition se trouvent dans le glossaire en fin de document.

### 2.1 Source

Les pollutions identifiées dans le sol et les eaux souterraines constituent les sources à considérer lors de l'évaluation des risques pour la santé humaine. Le concept est détaillé dans la partie A (section 3) du guide.

### 2.2 Récepteurs ou cibles

Dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé humaine, la cible (ou le récepteur) est l'être humain (le terme « homme » étant également utilisé dans la suite du document). Ce dernier peut alternativement être assimilé à un enfant (depuis la naissance jusqu'à 6 ans), à un adulte ou à un enfant grandissant (exposition aussi appelée « vie entière » correspondant à une personne vivant au droit du même site toute sa vie pendant les périodes enfant et adulte).

### 2.3 Zone récepteur ou zone cible

Le concept de **zone récepteur** ou **zone** cible a été introduit dans la partie A (section 3) du guide. Ce concept (où le mot « récepteur » est ici à entendre comme décrit ci-dessus en 2.2) a une importance particulière dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé humaine : l'identification des différentes zones récepteur existant sur un site, et des différentes zones récepteur à éventuellement distinguer pour une même source, permet d'identifier les différentes chaînes individuelles « source-transfert-cible » qu'il y a lieu de considérer dans l'évaluation des risques pour la santé humaine et de construire sur cette base le Modèle conceptuel du site (MCS) qui servira de référence dans l'étude (cf. 2.6 ci-après). Le concept de zone récepteur constitue également un des éléments-clés à considérer dans le raisonnement à tenir pour définir les **concentrations représentatives** (cf. 2.4 ci-dessous) qui serviront de données d'entrée pour l'application des méthodes de l'ESR-SH et de l'EDR-SH.

## 2.4 Concentration représentative pour l'application des méthodes ESR-SH et EDR-SH

Le concept de concentration représentative a été introduit dans la partie A (section 3) du guide. Dans l'évaluation des risques pour la santé humaine, le concept de concentration représentative doit être utilisé en considérant les lignes directrices suivantes :

- Lorsque la source considérée dans l'évaluation d'une chaîne Source-Transfert-Cible (S-T-C) donnée est une **tache de pollution** : la concentration représentative sera, par défaut, la concentration maximale observée dans la tache. Si une autre option que la concentration maximale est retenue, elle sera justifiée par l'expert.
- Lorsque la source considérée dans l'évaluation d'une chaîne S-T-C donnée est une **pollution non distribuée par taches** (zones de **remblais** pollués, pollutions atmosphériques locales), on se référera aux descripteurs définis au Tableau 5 du GREC (Guide de Référence pour l'Etude de Caractérisation, section 2.2.2.B.4 et repris ci-dessous) pour définir une valeur représentative du centre de la distribution statistique et une valeur représentative des concentrations extrêmes. De ces deux valeurs, qui seront chacune testées et comparées dans l'application des méthodes (ESR ou EDR), il appartiendra à l'expert de préciser en fonction du contexte celle qu'il y a lieu de retenir pour évaluer si la situation répond au critère de « menace grave ». Le raisonnement que l'expert devra tenir pour faire ce choix doit impérativement prendre en compte les caractéristiques d'occupation et de fréquentation des **cibles** dans la zone récepteur, qui est fonction de l'usage, lequel doit être considéré à la fois sur une base actuelle et pour l'ensemble des scénarios potentiels (cf. partie A du guide , section 3.5).  
En tant que règle générale, dans tous les cas où des polluants volatils sont concernés, on se référera aux valeurs représentatives des concentrations extrêmes.
- Dans les **situations mixtes**, non tranchées entre les deux cas de figure ci-dessus (par exemple plusieurs taches de pollution non clairement individualisables et éventuellement superposées à de la pollution des remblais), les concentrations représentatives seront déduites par jugement en se référant à l'esprit des règles ci-dessus.
- Dans tous les cas, il appartiendra également à l'expert de qualifier son choix, eu égard à la situation analysée, en tant que « choix réaliste » ou « choix conservateur ». Ce choix sera appelé à être considéré au final, dans le cadre du travail d'interprétation générale des résultats et pour l'élaboration des conclusions opérationnelles qui s'ensuivent (conjointement avec la prise en considération qualitative des autres facteurs d'incertitude dans le cadre de l'application du modèle des feux de signalisation, cf. Partie A du GRER, section 3.7.2).
- En vue de l'interprétation des résultats relatifs aux concentrations représentatives, celles-ci pourront être distinguées pour les couches de surface et les couches de profondeur (cf. section 4.2.2.3.3).

**Tableau 1 - Choix des valeurs représentatives (Source : Tableau 5 du GREC - section 2.2.2.B.4)**

VALEURS REPRESENTATIVES		
	du centre de la distribution	des concentrations extrêmes
Pour $n \leq 5$	$C_{moyenne}$	$C_{maximale}$
Pour $5 < n \leq 5$	$C_{moyenne}$	$C_{moyenne} + 2 \text{ écarts-type}$
Pour $15 < n \leq 25$	$C_{moyenne}$ ou $C_{médiane}$	Centile 90
Pour $n > 25$	$C_{moyenne}^*$ ou $C_{médiane}^*$	Centile 90 *

\* Avec éventuelle élimination préalable des concentrations marginales (outliers).

## 2.5 Exposition, voies d'exposition et d'administration

L'exposition est le contact entre un organisme vivant et un polluant, présent dans un ou des milieux potentiellement pollués. La dose (section 2.9) est la quantité de cette substance présentée à la barrière biologique de l'individu exposé (dose externe) ou l'ayant traversée (dose interne).

Les **voies d'administration** sont définies comme les voies par lesquelles un polluant pénètre dans l'organisme ; elles sont au nombre de trois : l'ingestion, l'inhalation et le contact dermique ou cutané.

Les voies d'exposition sont les voies de passage d'un polluant de la source vers la cible.

On distingue généralement :

- les voies d'exposition directes, par lesquelles la cible est en contact direct avec la source : l'ingestion de particules de sol polluées, l'ingestion d'eau polluée... ;
- les voies d'exposition indirectes, par lesquelles la cible entre en contact avec la source via un milieu intermédiaire : l'ingestion de légumes cultivés sur un sol pollué, l'inhalation de vapeurs issues du sous-sol...

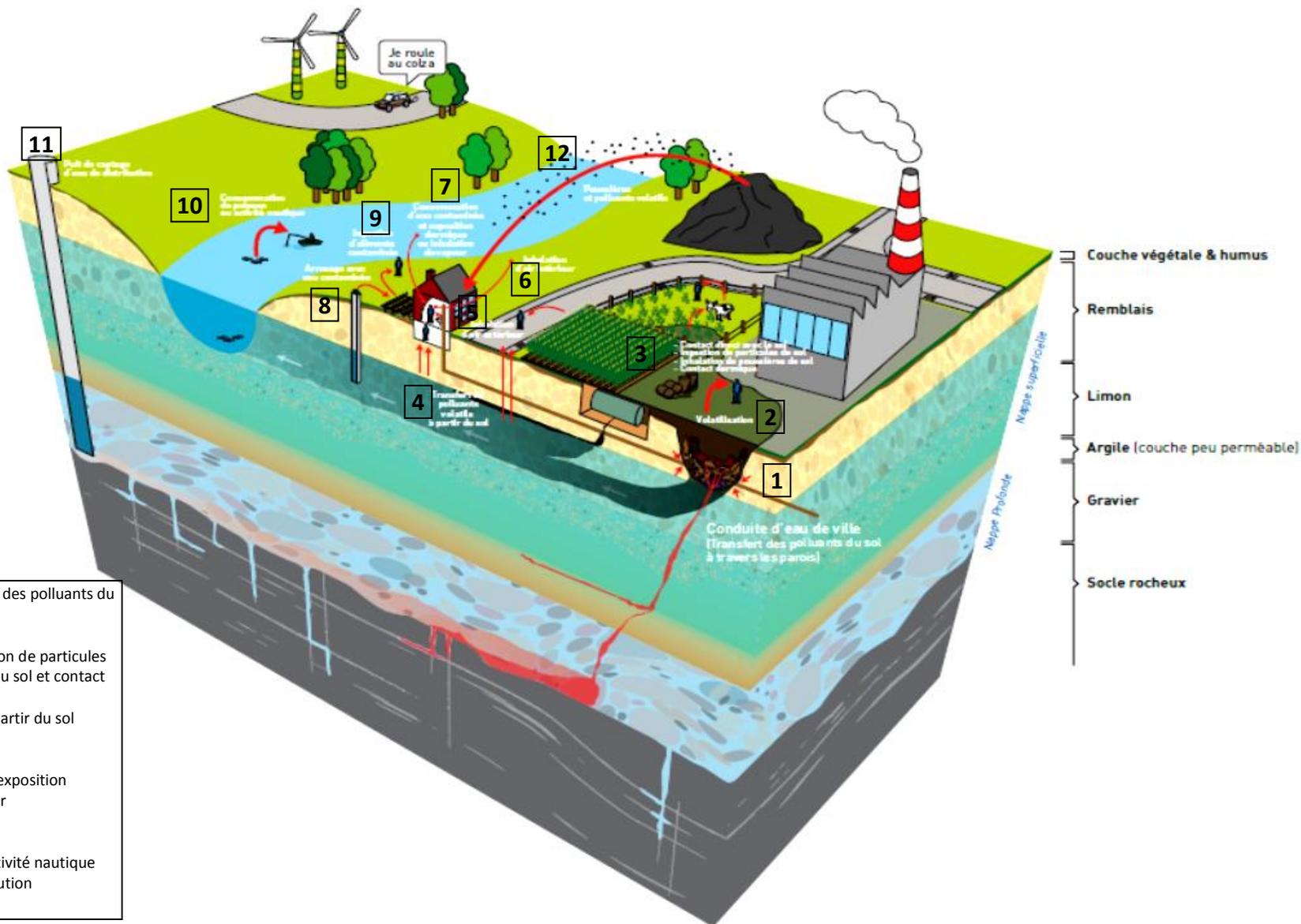
Les voies d'exposition retenues dans le cadre de l'EDR-SH sont les suivantes :

- l'inhalation de substances volatiles présentes dans les sols et/ou les eaux souterraines qui peuvent migrer à travers la colonne de sol et atteindre l'air ambiant (à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment) ;
- l'inhalation de substances présentes dans les sols de surface par réenvol de poussières ;
- l'ingestion de sol pollué (via le contact main-bouche) ;
- l'ingestion de légumes cultivés sur un sol pollué ;
- l'ingestion d'autres aliments tels que la viande, le lait ou les œufs issus d'un animal exposé à un sol pollué ;
- l'ingestion d'eau de boisson (provenant d'un puits dont l'eau est polluée ou d'une conduite d'eau potable enterrée dans des sols pollués, le transfert de polluants se faisant par perméation) ;

- le contact cutané avec des sols pollués ;
- l'inhalation de vapeurs d'eau de la douche alimentée par un puits dont l'eau est polluée ou par une conduite d'eau potable (en polyéthylène) enterrée dans des sols pollués ;
- le contact cutané avec l'eau du robinet provenant d'un puits dont l'eau est polluée ou d'une conduite d'eau potable enterrée dans des sols pollués.

La plupart de ces voies d'exposition sont illustrées à la Figure 1.

Figure 1 – Illustration des voies d'exposition (Source : CBP N° 5 de la SPAQuE)



1. Conduite d'eau de ville (transfert des polluants du sol à travers les parois)
2. Volatilisation
3. Contact direct avec le sol, ingestion de particules de sol, inhalation de poussières du sol et contact dermique
4. Transfert de polluants volatils à partir du sol
5. Inhalation d'air extérieur
6. Inhalation d'air intérieur
7. Consommation d'eau polluée et exposition dermique ou inhalation de vapeur
8. Arrosage avec de l'eau polluée
9. Ingestion d'aliments pollués
10. Consommation de poisson ou activité nautique
11. Puits de captage d'eau de distribution
12. Poussières et polluants volatils

## 2.6 Modèle Conceptuel du Site relatif à l'évaluation des risques pour la santé humaine

Le Modèle conceptuel du site relatif à l'évaluation des risques pour la Santé Humaine (MCS-SH) est obtenu en complétant le Modèle conceptuel du site (MCS) établi dans le cadre général de l'étude de caractérisation (EC) avec les cibles et les différentes **voies de transfert** qui permettent aux sources de pollution d'entrer en contact – directement ou indirectement – avec les cibles. Il est la représentation des liens entre les pollutions observées au niveau du sol et de l'eau souterraine et les impacts potentiels sur les cibles présentes.

Cette représentation dresse un bilan de l'état de compréhension de la pollution axé sur les risques pour la santé humaine et intègre les éventuelles incertitudes significatives.

Le modèle conceptuel prend généralement la forme d'un tableau ou d'un texte structuré auquel est associée une représentation schématique (au minimum une vue en plan et au moins une vue en coupe). Pour la santé humaine, une coupe géologique sur laquelle sont superposées les données analytiques et organoleptiques indicatrices de pollutions, tache par tache est par exemple accompagnée d'un tableau et/ou d'un texte descriptif agrégeant les données pertinentes utilisées dans l'évaluation des risques pour la santé humaine. La formalisation du MCS-SH relatif à l'évaluation des risques pour la santé humaine est laissée à l'appréciation de l'expert.

D'une façon générale, le MCS-SH gagnera à être établi de façon préliminaire dans le cadre de l'application des méthodes de l'ESR-SH (cf. 4.2.2.1) et à être ajusté et éventuellement redétaillé ensuite dans le cadre de l'application des méthodes de l'EDR-SH (cf. 4.3.2).

## 2.7 Toxicité chronique et aiguë

Les polluants sont susceptibles de provoquer différents types d'effet, en fonction de la durée d'exposition des cibles à ces polluants et/ou des voies d'exposition.

La **toxicité aiguë** d'un polluant correspond aux effets d'une exposition de courte durée à une dose (concentration) forte, généralement unique (INERIS, 2005-a).

La **toxicité chronique** correspond aux effets d'une administration répétée à long terme et à faibles doses. Ces doses sont insuffisantes pour provoquer un effet immédiat, mais la répétition de leur absorption sur une longue période de temps a des effets délétères (INERIS, 2005-a).

Les effets chroniques sont les seuls traités dans le présent guide.

## 2.8 Potentiel dangereux

L'évaluation du **potentiel dangereux** des polluants consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme. Ces effets peuvent être de différents types : systémiques, locaux, immunotoxiques, cancérigènes, mutagènes ou **reprotoxiques** (cf. glossaire).

Cette évaluation peut mettre en évidence le fait que plusieurs substances considérées ont des effets communs sur le même organe-cible (glossaire), induits par le même **mécanisme d'action** (glossaire). Dans ce cas, il en sera tenu compte dans le cadre de l'interprétation générale des résultats de l'EDR-SH (cf. 4.3.2).

Il est à noter que la notion de potentiel dangereux est différente de celle de risque, le risque étant une probabilité qu'un effet indésirable se réalise dans des conditions données, tandis que le potentiel dangereux se réfère aux effets indésirables eux-mêmes.

Dans le cadre des évaluations des risques, on distingue deux classes d'effets :

- les effets « à seuil » qui provoquent, au-delà d'une certaine dose, des dommages dont la gravité augmente avec cette dose. Ce sont les effets associés aux polluants non cancérigènes ou cancérigènes non génotoxiques ;
- les effets « sans seuil », qui apparaissent quelle que soit la dose avec une probabilité de survenue augmentant avec cette dose. Ce sont les effets associés aux polluants cancérigènes génotoxiques.

Dans la suite du texte, on utilisera les termes effets « à seuil » et effets « sans seuil ». Il est à noter qu'un polluant peut présenter un seul type d'effet ou les deux types d'effets. Dans ce dernier cas, le polluant est qualifié de « mixte »<sup>2</sup>.

Il existe différents modes de classification des polluants (cf. **Annexe B7**). La conséquence pratique de ces différents modes de classification est que lorsqu'on a affaire à un polluant non encore normé, il pourra éventuellement être considéré distinctement comme polluant cancérigène ou non cancérigène selon le système de classification considéré. C'est la raison pour laquelle dans tel cas l'expert se reportera à l'**Annexe B7**, qui fournit un ordre de préséance dans les systèmes de classification ainsi que des lignes directrices pour l'évaluation du potentiel cancérigène des polluants et pour la sélection des **Valeurs toxicologiques de référence** (VTR, cf. 2.11 ci-après).

## 2.9 Dose d'exposition

Le concept de dose d'exposition tel qu'utilisé dans ce guide correspond à la quantité de polluant qui entre en contact avec les barrières biologiques par inhalation, par ingestion ou via la peau ; il s'agit par conséquent de la dose externe d'exposition. Par opposition, les doses internes (doses absorbées) sont les quantités de polluants qui sont réellement absorbées par l'organisme. La dose interne peut être très différente de la dose externe, en particulier lorsque la substance est très peu biodisponible (concept clé « **biodisponibilité** », cf. 2.10).

La méthode d'Evaluation Détaillée des Risques pour la santé humaine (EDR-SH) décrite à la section 4.3.2 comprend le calcul des doses d'exposition. En l'absence d'information sur le processus d'absorption effectif, la dose interne est généralement considérée identique à la dose externe d'exposition.

Pour estimer l'exposition par ingestion et contact dermique, l'unité utilisée est le mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour (p.c. = poids corporel) et fait référence à une quantité de polluant (mg) administrée (pour l'ingestion) ou

---

<sup>2</sup> Actuellement, chaque type d'effet est associé à une voie d'administration ; un polluant mixte pourra donc avoir des effets « à seuil » par voie orale et des « effets sans seuil » par voie inhalatoire, ou l'inverse.

absorbée (pour le contact cutané) par jour et ramenée au poids corporel de la cible (kg), qui est, par convention, un adulte de 70 kg et un enfant de 15 kg.

Les doses d'exposition sont calculées pour chaque voie d'exposition et pour chaque cible pertinente (pour les effets « à seuil » : enfant, adulte ; pour les effets « sans seuil » : enfant grandissant ou « vie entière »). Ces doses d'exposition sont ensuite additionnées (en agrégeant l'ingestion et le contact cutané<sup>3</sup>) afin de donner les doses d'exposition totales pour chacune des cibles, soit :

$$DJE = DA + DA_w + DI + DI_w + VI + MI_m + MI_{me}$$

- où :
- DJE = la dose d'exposition totale par ingestion et contact cutané [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] ;
  - DA = la dose d'exposition par absorption cutanée par contact avec le sol et les poussières [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] ;
  - DA<sub>w</sub> = la dose d'exposition par absorption cutanée avec l'eau durant la douche [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] ;
  - DI = la dose d'exposition par ingestion de sol et de poussières [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] ;
  - DI<sub>w</sub> = la dose d'exposition par ingestion d'eau de boisson [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] ;
  - VI = la dose d'exposition par ingestion de végétaux [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] ;
  - MI<sub>mi</sub> = la dose d'exposition par ingestion de lait [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] ;
  - MI<sub>me</sub> = la dose d'exposition par ingestion de viande [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour].

Pour estimer l'exposition par inhalation, l'unité généralement utilisée est le mg/m<sup>3</sup> et fait référence à la quantité de polluant présente (mg) dans un certain volume d'air ambiant (m<sup>3</sup>).

Les doses d'exposition sont également calculées pour chaque voie d'exposition et pour chaque cible pertinente (pour les effets « à seuil » : enfant, adulte ; pour les effets « sans seuil » : enfant grandissant ou « vie entière »), puis additionnées afin de donner les doses d'exposition totales pour chacune des cibles, soit :

$$CI = IV_o + IV_i + IP + IV_w$$

- où :
- CI = la dose d'exposition totale par inhalation [mg/m<sup>3</sup>] ;
  - IV<sub>o</sub> = la dose d'exposition par inhalation de l'air extérieur [mg/m<sup>3</sup>] ;
  - IV<sub>i</sub> = la dose d'exposition par inhalation de l'air intérieur [mg/m<sup>3</sup>] ;
  - IP = la dose d'exposition par inhalation de particules de sol et de poussières [mg/m<sup>3</sup>] ;
  - IV<sub>w</sub> = la dose d'exposition par inhalation de vapeurs durant la douche [mg/m<sup>3</sup>].

Il est à noter que certains logiciels d'évaluation des risques, notamment RISC Human<sup>®4</sup>, expriment l'ensemble des doses d'exposition pour chaque **voie d'administration** en [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour]. En termes d'interprétation des risques, ces doses d'exposition doivent dès lors être comparées par référence à des valeurs toxicologiques exprimées de façon similaire (soit en mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour) (cf. 2.11). Signalons à ce sujet que les valeurs toxicologiques de l'ensemble des polluants normés - et repris dans les outils mis à disposition des experts - sont déjà exprimées en [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] et ne nécessitent par conséquent aucune conversion d'unités. S'agissant des polluants non normés, l'expert se référera à l'**Annexe B7** (cf. section B7-6).

<sup>3</sup> Il n'existe pas (encore) de VTR pour le contact cutané. En l'absence de VTR pour le contact cutané, l'option retenue dans le présent guide est d'interpréter les doses d'exposition par référence à la VTR retenue pour la voie orale (VTRor).

<sup>4</sup> Van Hall Larenstein Training & Consultancy (2007), Groningen & Leeuwarden, all rights reserved

Dans le cas particulier où les doses sont calculées pour une cible « vie entière » (effets « sans seuil »), la dose (totale ou associée à une voie d'exposition donnée) est calculée en pondérant la/les doses calculée(s) pour chacune des cibles pertinentes (enfant, adulte) par le rapport de la durée d'exposition ( $Lft_{\text{enfant}}$  ;  $Lft_{\text{adulte}}$ ) à la période de temps sur laquelle la moyenne de l'exposition est effectuée ( $Lft_{\text{vie entière}}$ ).

La durée d'exposition (paramètre  $Lft_{\text{cible}}$ ) correspond au temps de résidence au droit de la zone considérée (soit, par défaut, 6 ans de résidence pour un enfant dans l'habitation familiale, 64 ans de résidence pour un adulte dans l'habitation familiale, 45 ans de résidence pour un employé sur son lieu de travail).

La période de temps sur laquelle la moyenne de l'exposition est effectuée (paramètre  $Lft_{\text{vie entière}}$ ) est assimilée à la durée de vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans dans le cadre des évaluations des risques), car, même si la cible n'est plus en contact avec la source, les effets « sans seuil » liés à ces substances persistent.

Un exemple de calcul est donné ci-dessous.



**Exemple de calcul de la dose d'exposition par ingestion de sol et de poussières pour une cible « vie entière »**

$$DI_{\text{vie entière}} = (Lft_{\text{enfant}} / Lft_{\text{vie entière}}) \times DI_{\text{enfant}} + (Lft_{\text{adulte}} / Lft_{\text{vie entière}}) \times DI_{\text{adulte}}$$

$$DI_{\text{vie entière}} = (6/70) \times DI_{\text{enfant}} + (64/70) \times DI_{\text{adulte}}$$

Il est à noter que pour les effets « à seuil », dès que la cible n'est plus en contact avec la source, l'exposition cesse ; la durée d'exposition est par conséquent égale à la période de temps d'exposition moyennée ( $Lft_{\text{cible}} = Lft_{\text{vie entière}}$ ). La conséquence de cette hypothèse est que le risque disparaît pour un travailleur qui était exposé à une pollution sur son lieu de travail dès qu'il prend sa pension, limitant ainsi la durée d'exposition et la période sur laquelle elle est moyennée à 45 ans.

## 2.10 Biodisponibilité orale, bioaccessibilité

L'exposition de l'organisme humain à un polluant est fonction de la concentration totale dans le milieu d'exposition et de sa biodisponibilité. Cette dernière peut être distincte selon les milieux d'exposition et les voies d'administration (par ingestion, par contact cutané, par inhalation).

Il faut distinguer :

- la **biodisponibilité orale** : fraction de la dose administrée oralement et atteignant la circulation systémique ; la fraction biodisponible est la résultante de trois mécanismes physiologiques : l'extraction du polluant au niveau du système gastro-intestinal par les solutions digestives, l'absorption du polluant au travers de la membrane gastro-intestinale et le transport de la fraction non métabolisée du polluant vers les organes-cibles (Sips et Eijkeren, 1996 ; INERIS, 2005-b) ; dans le cadre des évaluations des risques, la biodisponibilité

peut être décrite selon deux notions : la biodisponibilité absolue <sup>5</sup> et la biodisponibilité relative <sup>6</sup> ;

- la **bioaccessibilité** <sup>7</sup> : fraction d'un polluant extraite depuis le sol par les solutions digestives, dissoute dans le système digestif et disponible pour l'absorption gastro-intestinale.

En dépit d'une prise de conscience internationale de l'importance de ces notions, il n'existe pas à l'heure actuelle de méthodes d'analyse validées et standardisées de tels paramètres dans la quantification du risque<sup>8</sup>. La quantification du risque, qui consiste à comparer une dose d'exposition à une Valeur toxicologique de référence (VTR), définie dans le concept clé suivant, ne prend pas en compte la différence d'accessibilité des polluants entre la matrice à laquelle la cible est exposée (dans le cas présent, le sol) et la matrice qui a servi à l'établissement de la VTR (solution ou aliment qui sert de vecteur à l'administration du polluant considéré). Il est alors nécessaire, pour le calcul de risque, d'intégrer la biodisponibilité ou la bioaccessibilité relative du polluant dans le sol par rapport à la biodisponibilité ou la bioaccessibilité de ce même polluant dans la matrice de référence. Toutefois, il existe peu de données actuellement disponibles concernant ces dernières valeurs. Par conséquent, dans les méthodes de l'EDR-SH décrites ci-après, la dose absorbée (interne) sera par défaut considérée égale à la dose externe (supposant que la biodisponibilité est égale à la disponibilité du polluant dans le vecteur utilisé pour l'élaboration de la VTR).

## 2.11 Valeurs toxicologiques de référence (VTR)

La Valeur toxicologique de référence (VTR) exprime une relation quantitative entre une exposition à un polluant et un effet sur la santé chez l'homme.

La VTR d'un polluant est établie à partir des données toxicologiques et épidémiologiques disponibles sur l'effet de la substance (potentiel dangereux, cf. section 2.8). Elle est spécifique d'un effet (« à seuil » ou « sans seuil ») et d'une durée d'exposition (exposition aiguë, sub-chronique ou chronique), et est généralement établie distinctement pour chacune des voies d'administration (VTR<sub>inh</sub>, VTR<sub>or</sub> et VTR<sub>contact cutané</sub>).

Les **durées d'exposition** peuvent être classées différemment selon les organismes ; l'INERIS (2003) les définit comme suit :

- une exposition aiguë correspond à une exposition de quelques secondes à quelques jours,
- une exposition sub-chronique correspond à une exposition de quelques jours à une ou quelques années,
- une exposition chronique est une exposition allant de quelques années à la vie entière.

<sup>5</sup> Se définit comme le ratio de la dose absorbée sur la dose administrée.

<sup>6</sup> La notion de biodisponibilité relative vise à comparer soit l'absorption d'un polluant sous deux spéciations (carbonate de plomb vs acétate de plomb), soit le même polluant administré par le biais de différentes matrices (sol, nourriture, eau). Elle peut être exprimée comme le ratio de la fraction absorbée du polluant présent dans le sol sur la fraction de ce même polluant dans la matrice utilisée pour les études de toxicité (INERIS, 2005-b).

<sup>7</sup> L'explication présentée dans cette section est un extrait de la communication orale faite par Feidt C. (ENSAIA-INPL) lors des journées de « 2<sup>èmes</sup> rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués » organisées par l'ADEME, les 20 et 21 octobre 2009 à Paris (France).

<sup>8</sup> La détermination de la biodisponibilité orale nécessite la mise en œuvre de modèles *in vivo* ou de test *in vitro* simulant les conditions physiologiques du système digestif.

La détermination de la bioaccessibilité consiste en des extractions chimiques séquentielles où les réactifs et conditions opératoires utilisées simulent les fluides digestifs.

La terminologie utilisée pour désigner les VTR est spécifique aux organismes nationaux ou internationaux à l'origine des valeurs proposées et les unités sont généralement différentes. Elles sont le plus couramment exprimées comme suit (Tableau 2) :

**Tableau 2 – Valeurs toxicologiques de référence – Unités les plus courantes selon les organismes nationaux/internationaux à l'origine des propositions de valeurs.**

Effet/voie	Inhalation <sup>(1)</sup>	Ingestion <sup>(2)</sup>
Effet « à seuil » (effet non cancérigène ou cancérigène non génotoxique)	mg/m <sup>3</sup>	mg/kg <sub>p.c.</sub> /jour
Effet « sans seuil » (effet cancérigène génotoxique)	(mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (US-EPA ; OEHHA ; ATSDR ; OMS)	(mg/kg <sub>p.c.</sub> /jour) <sup>-1</sup> (US-EPA ; OEHHA ; ATSDR ; OMS)
	(mg/m <sup>3</sup> ) correspondant à un niveau de risque de 1.10 <sup>-4</sup> (RIVM)	(mg/kg <sub>p.c.</sub> /jour) correspondant à un niveau de risque de 1.10 <sup>-4</sup> (RIVM)

(1) La base temporelle sur laquelle s'applique les concentrations dans l'air peut être différente selon les institutions. Les VTR préconisées par l'OMS (de type Air Quality Guidelines) concernent par exemple une exposition continue sur toute une vie. D'autres institutions proposent des VTR applicables pour toute une vie établies à partir d'expositions moyennées sur un jour, une semaine voire un mois. Dans le choix des VTR, les expositions chroniques sont à privilégier.

(2) Vu l'absence de VTR chroniques pour le contact cutané, les VTR relatives à l'ingestion sont retenues pour les calculs relatifs à la voie cutanée ; dans l'expression des unités l'abréviation « p.c. » fait référence au poids corporel.

Les VTR à utiliser pour l'application des méthodes de l'EDR-SH (cf. section 4.3.2 ci-après) sont fournies à l'**Annexe B5**<sup>9</sup>. L'**Annexe B7** fournit par ailleurs les lignes directrices<sup>10</sup> qui s'imposent à l'expert pour l'évaluation du potentiel cancérigène d'un polluant et pour la sélection de VTR lorsqu'il s'agit d'évaluer les risques qui seraient associés à l'existence de polluants non encore normés (par référence à l'Annexe 1 du « décret sols ») et ne figurant pas encore dans la liste reprise à l'**Annexe B5**.

Il est à noter que les valeurs reprises en **Annexe B5** pour les polluants cancérigènes (polluants avec effets « sans seuil ») sont exprimées directement en unité de dose [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] pour la voie orale (et le contact cutané) ou en unité de concentration [mg/m<sup>3</sup>] pour la voie par inhalation (unités similaires à celles utilisées pour les polluants associés à des effets « à seuil ») ; ces valeurs dénommées Valeurs Toxicologiques (VT) correspondent à un **Excès de Risque Individuel (ERI)**, cf. 2.12) de 1.10<sup>-5</sup><sup>11</sup>.

Ainsi, les VT retenues pour la voie d'administration par ingestion et reprises à l'**Annexe B5** (exprimées en [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour]) sont obtenues en divisant le niveau de risque accepté (dans le cas présent 1.10<sup>-5</sup>) par la VTR<sub>or</sub> spécifique au polluant (exprimée en [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour]<sup>-1</sup>).

Les VT retenues pour la voie d'administration par inhalation et reprises à l'**Annexe B5** (exprimées en [mg/m<sup>3</sup>]) sont obtenues de façon similaire à partir de la VTR<sub>inh</sub> exprimée en [mg/m<sup>3</sup>]<sup>-1</sup>.

<sup>9</sup> A noter que pour cette version du guide, les VTR sont reprises des valeurs utilisées pour le calcul des valeurs limites VS<sub>H</sub> et VI<sub>H</sub> à la base des normes VS et VI figurant à l'Annexe 1 du « décret sols ».

<sup>10</sup> En appui pour l'application de ces lignes directrices et pour en savoir plus à propos des VTR, leurs expressions et leurs méthodes d'élaboration on se référera au rapport de l'InVS (Bonvallet & Dor, 2002) ainsi qu'au manuel de toxicologie publié par l'ADEME (ADEME, 2002).

<sup>11</sup> Un niveau de risque additionnel de 5.10<sup>-5</sup> a été considéré dans le cas du benzène.

Dans la mesure où toutes les doses d'exposition calculées sont exprimées en [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour], comme cela est notamment le cas avec le logiciel d'évaluation des risques RISC Human<sup>®</sup>, les valeurs toxicologiques doivent être exprimées de façon identique. Rappelons à ce sujet que les valeurs toxicologiques de l'ensemble des polluants normés - et repris dans les outils mis à disposition des experts - sont déjà exprimées en [mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour] et ne nécessitent par conséquent aucune conversion d'unités additionnelle. S'agissant des polluants non normés, l'expert se référera à la méthode décrite à l'**Annexe B7** pour la conversion des unités (cf. section B7-6).

A chaque VTR est associé un facteur d'incertitude (UF), qui rend compte de la fiabilité des informations disponibles et utilisées pour l'élaboration des VTR. Ce facteur d'incertitude reflète les incertitudes suivantes (Bonvallet & Dor, 2002) :

- la variabilité inter-individuelle : extrapolation d'une valeur établie pour la population générale à une population sensible (facteur d'incertitude égal à 10) ;
- la variabilité inter-espèces : extrapolation des données de l'animal à l'homme (facteur d'incertitude égal à 10) ;
- l'incertitude liée à l'extrapolation des études réalisées à moyen terme pour établir une VTR « vie entière » (facteur d'incertitude égal à 10) ;
- l'incertitude liée à une VTR basée sur un LOAEL<sup>12</sup> plutôt qu'un NOAEL<sup>13</sup> (facteur d'incertitude compris entre 3 et 10).

La valeur associée à ce facteur d'incertitude est à la base des règles de fixation de la valeur de l'**Indice de risque d'Intervention (IR-I)** sous-tendant le concept clé de la « menace grave » (cf. 2.15).

## 2.12 Excès de risque individuel

Pour les effets « sans seuil », il est supposé qu'à toute dose non nulle d'une substance toxique correspond une probabilité non nulle (même si elle est infinitésimale) de développer un effet. L'Excès de Risque Individuel (ERI) correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à la dose d'exposition calculée dans l'étude.

Lorsque les VTR sont exprimées comme des inverses d'une dose (en (mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour)<sup>-1</sup> pour VTR<sub>or</sub>) ou comme des inverses d'une concentration dans l'air (en (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> pour VTR<sub>inh</sub>), les Excès de Risque Individuel (ERI<sub>or</sub> et ERI<sub>inh</sub>) sont donnés par les expressions suivantes:

- Excès de Risque Individuel par voie orale (y compris contact cutané) :

$$ERI_{or} = DJE \times VTR_{or}$$

- Excès de Risque Individuel pour la voie par inhalation :

$$ERI_{inh} = CI \times VTR_{inh}$$

<sup>12</sup> LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect Level.

<sup>13</sup> NOAEL : No Observed Adverse Effect Level.

<i>Symbole</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Unités</i>
DJE	Dose d'exposition totale par ingestion et contact cutané	mg/kg <sub>p.c.</sub> /jour
CI	Dose d'exposition totale par inhalation	mg/m <sup>3</sup>
VTR <sub>or</sub>	Valeur toxicologique de référence pour la voie d'administration par ingestion (et contact cutané) pour des effets « sans seuil »	(mg/kg <sub>p.c.</sub> /jour) <sup>-1</sup>
VTR <sub>inh</sub>	Valeur toxicologique de référence pour la voie d'administration par inhalation pour des effets « sans seuil »	(mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>

Les valeurs toxicologiques reprises en Annexe B5 pour les polluants cancérigènes, exprimées directement en unité de dose ou en unité de concentration, sont associées à une valeur d'ERI<sub>or</sub> ou ERI<sub>inh</sub> fixée à un niveau de risque donné, correspondant à un seuil précis convenu en matière d'acceptabilité générale des risques (cf. 2.15 ci-après). Ce seuil – correspondant à un risque additionnel de cancer – est fixé à 1.10<sup>-5</sup>, soit 1 cas de cancer additionnel pour 100.000 individus.

## 2.13 Indice de risque

Dans l'EDR-SH décrite ci-après (cf. section 4.3.2), le risque sera finalement quantifié à l'aide de l'Indice de Risque (IR) défini ci-dessous, et ce tant pour les effets « à seuil » que pour les effets « sans seuil ».

Pour les polluants associés à des effets « à seuil » l'IR est défini comme étant la dose d'exposition totale (en distinguant, d'une part, la voie d'administration par inhalation et, d'autre part, la voie d'administration par ingestion et par contact cutané) rapportée à la Valeur toxicologique de référence (VTR) correspondante, soit

- pour la voie orale (y compris contact cutané) :  $IR_{or} = \frac{DJE}{VTR_{or}}$
- pour la voie par inhalation :  $IR_{inh} = \frac{CI}{VTR_{inh}}$

Par souci de cohérence par rapport à la quantification des effets « à seuil », les risques cancérigènes pour les polluants associés à des effets « sans seuil » sont également exprimés par un IR défini comme étant la dose d'exposition (en distinguant, d'une part, l'inhalation et, d'autre part, l'ingestion et le contact cutané) rapportée à la Valeur Toxicologique (VT) correspondante, soit :

- pour la voie orale (y compris contact cutané) :  $IR_{or} = \frac{DJE}{VT_{or}}$
- pour la voie par inhalation :  $IR_{inh} = \frac{CI}{VT_{inh}}$

Par conséquent, un IR égal à 1 correspond à un niveau de risque additionnel de cancer de 1.10<sup>-5</sup>.

	<i>Symbole</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Unités</i>
IR		Indice de risque	-
DJE		Dose d'exposition totale par ingestion et contact cutané	mg/kg <sub>p.c.</sub> /jour

CI	Dose d'exposition totale par inhalation	mg/m <sup>3</sup>
VTR	Valeur toxicologique de référence exprimée	
	– pour les effets « à seuil » en termes de dose pour la voie orale (VTR <sub>or</sub> ) ou en termes de concentration pour la voie d'inhalation (VTR <sub>inh</sub> )	mg/kg <sub>p.c</sub> /jour ou mg/m <sup>3</sup>
	– pour les effets « sans seuil » en termes d'inverse d'une dose pour la voie orale (VTR <sub>or</sub> ) ou en termes d'inverse d'une concentration pour la voie d'inhalation (VTR <sub>inh</sub> )	[mg/kg <sub>p.c</sub> /jour] <sup>-1</sup> ou [mg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>
VT	Valeur Toxicologique exprimée pour les effets « sans seuil » en termes de dose pour la voie orale ou en termes de concentration pour la voie d'inhalation et correspondant à un risque additionnel de cancer de 1.10 <sup>-5</sup> 12	mg/kg <sub>p.c</sub> /jour ou mg/m <sup>3</sup>

L'indice de risque constituera l'expression quantitative du risque résultant de l'évaluation quantitative de l'exposition attendue en fonction des concentrations en polluants mesurées dans le sol (et éventuellement les concentrations mesurées directement dans certains milieux ou vecteurs d'exposition, cf. section 4.3.2.1.1). Les valeurs d'IR ainsi calculées sont appelées à être confrontées avec les principes d'acceptation du risque retenus (cf. sections 2.15 et 4.3.2.5)<sup>14</sup>, lesquels prendront en compte également :

- la grandeur et la nature des incertitudes associées à la valeur d'IR calculée,
- les autres éléments relatifs aux conditions générales intervenant dans la caractérisation du risque et portant sur la probabilité de survenance des effets ou sur leur grandeur (comme la considération de l'**additivité** des effets lorsque des polluants sont présents en mélange).

De façon générale, l'IR est appelé – dans le cadre de l'EDR-SH – à être calculé séparément pour les voies d'administration par ingestion (et contact cutané) et par inhalation, pour chaque cible et pour chaque type d'effet (effets « à seuil » et effets « sans seuil »)<sup>15</sup>.

Seront ainsi obtenus pour les polluants individuels, les indices de risque suivants :

- pour les effets « à seuil » :
  - IR<sub>or,c</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible enfant ;
  - IR<sub>or,a</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible adulte ;
  - IR<sub>inh,c</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible enfant ;
  - IR<sub>inh,a</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible adulte ;
  
- pour les effets « sans seuil » :
  - IR<sub>or,vie entière</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible « vie entière » ;
  - IR<sub>inh,vie entière</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible « vie entière » ;

<sup>14</sup> Ces principes résultent de choix collectifs et en particulier ceux ressortis des travaux de consultation des parties prenantes et de concertation entre acteurs menés dans le cadre du projet CONGER.

<sup>15</sup> Il est à noter que dans le cadre de l'élaboration des valeurs limites pour la santé humaine (VS<sub>H</sub> et VI<sub>H</sub>) qui sous-tendent les normes du « décret sols », les indices de risque associés aux voies orale et par inhalation ont été additionnés, sans tenir compte du caractère mixte ou non (et donc du ou des type(s) d'effet(s)) du polluant considéré. Au stade actuel pour les applications du GRER, les indices de risques associés aux voies orale et par inhalation ne sont plus additionnés dans le cas des polluants mixtes. Les valeurs de VS<sub>H</sub> et VI<sub>H</sub> de l'Annexe B1 ont été mises en concordance avec ces modifications.

Les IR seront interprétés différemment selon le(s) type(s) d'effet considéré(s) (cf. 4.3.2.5).



*Il faut noter également qu'à ce jour, les méthodes développées pour l'EDR-SH dans le présent guide ne prévoient encore que le recours à deux VTR (une VTR<sub>or</sub> et une VTR<sub>inh</sub>). En outre, pour certains polluants qualifiés de « mixtes », des effets « à seuil » et « sans seuil » ont été considérés simultanément.*

## 2.14 Effet de mélange/additivité

### 2.14.1 Effet de mélange

A l'instar de la majorité des méthodes d'évaluation des risques pour la santé déployées pour la gestion des sites pollués, les méthodes décrites ci-après aux sections 4.2 et 4.3 du guide consistent en des approches « mono-polluants ». Une des faiblesses notoires de ces approches est qu'elles ne prennent pas en compte les interactions possibles entre les substances qui peuvent être présentes lorsqu'on a affaire à un mélange de polluants (qu'il s'agisse de produits contenant de multiples composés, ou de taches de pollutions de natures distinctes existant dans une même zone récepteur).

On sait cependant que les polluants peuvent interagir dans leurs effets sur la santé humaine, les principales interactions possibles rapportées dans la littérature étant les suivantes :

- l'additivité : l'effet global est la somme des effets individuels ;
- la synergie<sup>16</sup>, la potentiation<sup>17</sup> : l'effet global est supérieur à la somme des effets individuels ;
- l'antagonisme<sup>18</sup>, l'inhibition<sup>19</sup>, le masque<sup>20</sup> : l'effet global est inférieur à la somme des effets individuels.

Dans les méthodes décrites ci-après pour l'EDR-SH, l'additivité potentielle des effets des polluants présents en mélange (ou existant dans une même zone récepteur) est prise en compte dans le cadre de l'interprétation générale des résultats (cf. 4.3.2.5).

### 2.14.2 Additivité des voies d'administration

De manière précautionneuse et en l'absence de preuves scientifiques suffisantes indiquant le contraire, il est supposé que, pour un même type d'effet (effets « à seuil » ou effets « sans seuil »), les risques obtenus pour la voie orale (et contact cutané) et pour la voie par inhalation sont additifs.

<sup>16</sup> Synergie : effet du mélange supérieur à celui estimé par additivité des effets de chaque composé pris séparément.

<sup>17</sup> Potentiation : quand un composé X n'ayant pas d'effet toxique sur un organe augmente l'effet du composé Y sur cet organe.

<sup>18</sup> Antagonisme : effet du mélange inférieur à celui estimé par additivité.

<sup>19</sup> Inhibition : quand un composé X n'ayant pas d'effet toxique sur un organe diminue l'effet du composé Y sur cet organe.

<sup>20</sup> Masque : quand plusieurs composés produisent des effets opposés ou compétitifs sur le même organe et diminuent les effets de chacun.

Pour la phase d'interprétation des risques, le type d'effet associé à chaque polluant a dès lors toute son importance. Sont ainsi distingués :

- les polluants non mixtes, qui présentent le même type d'effets (effets « à seuil » ou effets « sans seuil ») pour les deux voies d'administration (orale – et contact cutané – et par inhalation) ;
- les polluants mixtes, présentant des effets « à seuil » pour la voie orale (et contact cutané) et des effets « sans seuil » pour la voie par inhalation, ou vice-versa.

En conséquence, pour le calcul d'Indice de Risque (**IR**) pour un polluant :

- non mixte, les IR associés aux deux voies d'administration, correspondant à un seul type d'effet, sont par défaut toujours additionnés ;
- mixte, les IR associés aux deux voies d'administration, qui correspondent par définition à des effets de type différent, ne sont jamais additionnés ; ils sont interprétés séparément.

Par contre, pour le calcul de l'Indice de Risque Global (IRG) (cf. 2.15 ci-après) pour un organe-cible, les IRG associés aux voies orale (et contact cutané) et par inhalation pour cet organe-cible sont toujours additionnés<sup>21</sup>. En effet, tous les effets « sans seuil » sont regroupés dans la catégorie des « organes susceptibles d'être touchés par un cancer » (ou en abrégé « cancer »), tandis que les autres organes-cibles (foie, rein, etc.) concernent exclusivement des effets « à seuil ». Un organe-cible donné est donc associé à un seul type d'effet.

## 2.15 « Menace grave » du point de vue de la santé humaine

Le concept de « menace grave » et les critères généraux de qualification du risque qui sous-tendent ce concept ont été présentés dans la partie A du guide.

Dans le cadre de l'application des méthodes de l'ESR-SH, il sera considéré que les critères d'« hypothèse de menace grave » sont rencontrés lorsque les valeurs limites visées au point 3.1 sont dépassées.

Dans le contexte de l'application des méthodes de l'EDR-SH décrites ci-après (cf. section 4.3), il sera considéré que les critères de « menace grave » sont rencontrés dès lors que les méthodes appliquées aux polluants pris individuellement aboutissent à la conclusion que l'IR pour un des polluants dépasse une certaine valeur limite désignée – par analogie avec les « Valeurs d'Intervention » - comme « Indice de Risque d'Intervention » (ci-après IR-I).

Par convention, pour les effets « sans seuil », les valeurs d'Indice de Risque d'Intervention applicables sont fixées à la valeur :  $IR-I = 10$ . Comme les valeurs toxicologiques applicables (cf. **Annexe B5**) pour les polluants associés à des effets « sans seuil » sont exprimées en unité de dose ( $mg/kg_{p.c.}/jour$ ) ou en unité de concentration dans l'air correspondant à un niveau de risque additionnel de cancer de  $1.10^{-5}$ , une valeur d'IR-I égale à 10 correspondra à un risque additionnel de cancer de  $1.10^{-4}$  (soit 1 cas de cancer additionnel pour 10.000 individus)<sup>22</sup>.

<sup>21</sup> A noter que seules les voies d'administration agissant sur l'organe-cible considéré sont prises en compte.

<sup>22</sup> A noter que ce seuil de risque correspond à celui considéré pour l'application du concept de « ernstige bodemverontreiniging » (de portée analogue au concept de « menace grave ») dans la législation hollandaise sur les sols pollués (Circulaire bodemsanering, 2009) et correspond également, dans la « Démarche d'Interprétation des Milieux » adoptée en France, au seuil limite de risque départageant les situations qui peuvent faire l'objet de mesures de gestion simples (sous le seuil) de celles (au-delà du seuil) qui doivent faire l'objet d'un « plan de Gestion » (MEDD, 2007).

Pour les effets « à seuil », les valeurs d'Indice de Risque d'Intervention applicables seront fonction de la nature des polluants, et plus particulièrement du degré de certitude/d'incertitude associé à la VTR (le cas échéant aux 2 valeurs de VTR :  $VTR_{or}$  et  $VTR_{inh}$ ) qui est (sont) d'application (cf. **Annexe B5** et **Annexe B6**). Les valeurs d'Indice de Risque d'Intervention applicables seront ainsi fixées à :

- IR-I = 2 : pour les polluants dont les valeurs des facteurs d'incertitude (UF) associées aux VTR retenues sont comprises entre 1 et 10 ;
- IR-I = 5 : pour  $10 < UF \leq 500$  ;
- IR-I = 10 : pour  $UF > 500$ .

Les valeurs d'IR-I applicables pour les effets « à seuil » et effets « sans seuil », et pour les voies d'administration orale et par inhalation, sont reprises dans le Tableau 3<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> Il s'agit d'une version provisoire correspondant à l'utilisation de deux VTR.

	Effets à seuil		Effet sans seuil	
	voie orale	voie inhalatoire	voie orale	voie inhalatoire
	IR-I	IR-I	IR-I	IR-I
<b>Métaux/métalloïdes</b>				
Arsenic	2			10
Cadmium	2	2		
Chrome III	5	2		
Chrome VI	10			10
Chrome total	5	2		
Cuivre	5	5		
Mercurure inorganique	10	2		
Monométhylmercure	2			
Mercurure élémentaire		5		
Nickel	5			10
Plomb	2	2		
Zinc	2	5		
<b>Hydrocarbures aromatiques non halogénés</b>				
Benzène			10	10
Ethylbenzène	10	5		
Toluène	10	2		
Xylènes	10	5		
Styrène	10	5		
Phénol	10	10		
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques non halogénés</b>				
Naphtalène	10	10		
Acénaphthylène			10	10
Acénaphtène	10			10
Fluorène	10			10
Phénanthrène	5			10
Anthracène	10			10
Fluoranthène	10			10
Pyrène	10			10
Benzo(a)anthracène			10	10
Chrysène			10	10
Benzo(b)fluoranthène			10	10
Benzo(k)fluoranthène			10	10
Benzo(a)pyrène			10	10
Dibenzo(a,h)anthracène			10	10
Benzo(g,h,i)pérylène	10			10
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène			10	10
<b>Hydrocarbures chlorés</b>				
Dichlorométhane	10	5		
Trichlorométhane		5	10	
Tetrachlorométhane	10	5		
Tetrachloroéthène (PCE)	10	5		
Trichloroéthène (TCE)	10			10
cis-1,2-Dichloroéthène (DCE)	10	10		
trans-1,2-Dichloroéthène (DCE)	10	10		
Chloroéthène (VC)			10	10
1,1,1 - trichloroéthane (1,1,1-TCA)	10	2		
1,1,2 - trichloroéthane (1,1,2 - TCA)	10	10		
1,2 - dichloroéthane (1,2 - DCA)		5	10	
<b>Cyanures</b>				
Cyanures libres	5	5		
<b>Autres composés organiques</b>				
Methyl-tert-butyl-éther (MTBE).	10	5		
<b>Hydrocarbures pétroliers</b>				
Fraction aliphatique EC 5-6	5	5		
Fraction aliphatique EC > 6-8	5	5		
Fraction aliphatique EC > 8-10	10	10		
Fraction aliphatique EC >10-12	10	10		
Fraction aliphatique EC > 12-16	10	10		
Fraction aliphatique EC > 16-21	5	2		
Fraction aliphatique EC > 21-35	5	2		
Fraction aromatique EC > 6-7	5	5		
Fraction aromatique EC > 7-8	10	2		
Fraction aromatique EC > 8-10	5	10		
Fraction aromatique EC >10-12	5	10		
Fraction aromatique EC > 12-16	5	10		
Fraction aromatique EC > 16-21	10	2		
Fraction aromatique EC > 21-35	10	2		

polluant mixte (prise en compte des effets à seuil et sans seuil)
1 seule VTR pour le calcul de VS <sub>H</sub>
UF non disponible
voie non pertinente
effet non pertinent

Tableau 3 – Valeur d'Indice de Risque d'Intervention (IR-I) à retenir selon le type d'effet (« à seuil » ou « sans seuil ») pour les voies d'administration par ingestion (et contact cutané) et par inhalation<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> A noter que l'Indice de Risque Seuil (IR-S) est égal à l'unité quels que soient l'effet et la voie considérés.

Par convention, pour les applications de l'EDR-SH (i.e. la caractérisation des risques à l'aide du modèle des feux de signalisation, cf. GRER, Partie A, § 3.7.2), la transition entre la plage verte, où les risques sont reconnus comme acceptables<sup>25</sup>, et la plage orange sera délimitée, pour chaque polluant considéré individuellement, par la valeur critique de  $IR = 1$ . Cette valeur critique est désignée par analogie comme valeur d'Indice de Risque Seuil (IR-S). La plage orange d'acceptation/non acceptation du risque est donc bornée par les valeurs IR-S et IR-I.

Dans la plage orange, il peut encore être conclu :

- soit à l'absence de « menace grave » mais à la nécessité d'imposer des mesures de sécurité et/ou de suivi ;
- soit à l'existence d'une « menace grave » rendant l'obligation d'assainir effective.

Dans cette plage orange, les critères de « menace grave » seront rencontrés si la situation répond à un certain nombre de conditions spécifiques fixées dans la section 4.3.2.5 et qui ont trait :

1. à l'additivité potentielle des effets des polluants présents en mélange (ou existant dans une même zone récepteur), déjà énoncée ci-avant (cf. 2.14) : l'additivité sera en pratique prise en compte au travers d'un Indice de Risque Global associé à un organe-cible ( $IRG_{organe-cible}$ ) calculé comme la somme des valeurs d'Indices de Risques des différents polluants susceptibles d'avoir des effets de même type (cancer) ou de concerner de mêmes organes-cibles exprimées en valeurs relatives par rapport aux valeurs d'IR-I applicables :

$$IRG_{organe-cible} = \sum (IR / IR-I)_i$$

<i>Symbole</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Unités</i>
$(IR)_i$	Indice de Risque calculé pour le polluant i compris dans la série des polluants susceptibles d'avoir des effets de même type ou de concerner de mêmes organes-cibles d'après l' <b>Annexe B6</b>	-
$(IR-I)_i$	Indice de Risque d'Intervention applicable pour le polluant i d'après le Tableau 3 et l' <b>Annexe B6</b>	-

Le critère de « menace grave » sera ainsi rencontré pour l'ensemble des polluants susceptibles d'avoir des effets de même type (cancer) ou de concerner de mêmes organes-cibles dès lors que la valeur calculée de l'Indice de Risque Global dépasse la valeur unitaire :  $IRG > 1$ .

Les outils et les lignes directrices pour le calcul de l'IRG sont donnés à l'**Annexe B6**.

2. aux incertitudes associées aux valeurs calculées des IR pour les différents polluants dont les valeurs d'IR tombent dans la plage orange (cf. **Annexe B6**) : ces incertitudes seront évaluées de façon qualitative en suivant les lignes directrices fournies à la section 4.3.2.5.1 et aboutiront à conclure au caractère :
  - soit : conservatoire,
  - soit : réaliste ,
  - soit : potentiellement non conservatoire,

<sup>25</sup> La terminologie de « risque acceptable » doit être entendue comme « absence de risque d'exposition (pour les polluants à effets « à seuil ») ou risque additionnel de cancer inférieur à  $1.10^{-5}$  (pour les polluants à effets « sans seuil »).

des risques globaux (c'est-à-dire appréciés globalement pour l'ensemble des polluants tombant dans la plage orange) estimés d'après les valeurs d'IR calculées pour les différents polluants.

Ces conditions spécifiques devront faire l'objet d'un examen systématique par l'expert, les données utiles pour la réalisation de ces tests provenant pour l'essentiel du travail de caractérisation du risque effectué au terme de l'EDR (cf. section 4.3.2.4).

### 3. Outils pour l'évaluation des risques pour la santé humaine

#### 3.1 Introduction générale

La méthodologie d'évaluation des risques pour la santé humaine fait appel à l'utilisation « d'outils » regroupés suivant les deux paliers propres à l'Evaluation Simplifiée des Risques pour la Santé Humaine (ESR-SH) et à l'Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine (EDR-SH).

- **Palier 1** : recours aux valeurs limites suivantes (cf. **Annexe B1**) :
  - pour le sol (Zone Non Saturée ZNS) : les valeurs seuil pour la santé humaine ( $VS_H$ ) et les valeurs d'intervention pour la santé humaine ( $VI_H$ ) ; ces valeurs sont spécifiées pour les cinq usages du « décret sols » et ne sont pas ajustables en fonction des propriétés du sol ;
  - pour les eaux souterraines :
    - cas des nappes exploitables (concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1) :
      - les valeurs limites définies pour les eaux souterraines telles que figurant à l'Annexe 1 du « décret sols »<sup>26</sup> ( $VS_{nappe}$  et  $VI_{nappe}$ ), qui visent à prévenir les risques qui pourraient être associés à l'utilisation de l'eau souterraine (notamment à des fins de production alimentaire)<sup>27</sup> et
      - les valeurs limites  $VS_{nappe [volatilisation]}$  qui visent à prévenir les risques qui pourraient être générés par la volatilisation des polluants depuis la nappe ;
    - cas des nappes non exploitables (concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1) :
      - les valeurs  $VS_{nappe [volatilisation]}$ , qui visent à prévenir les risques qui pourraient être générés par la volatilisation des polluants depuis la nappe.
- **Palier 2** : deux types d'outils sont disponibles :
  - des modèles permettant le calcul des doses d'exposition à partir de concentrations dans le sol et/ou l'eau souterraine sur la base des équations de transfert incorporées dans le logiciel RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 et dont les résultats transcrits dans un tableur de type Excel permettent le calcul du niveau de risque ;
  - des mesures directes de concentrations dans des milieux autres que le sol et les eaux souterraines (par exemple, dans des légumes) qui permettent de calculer directement des doses d'exposition ou d'affiner le calcul des doses d'exposition en intégrant ces mesures dans les modèles.

<sup>26</sup> Comme mentionné dans la Partie A du GRER (section 2.2), par convention d'écriture, les sigles  $VR_{nappe}$ ,  $VS_{nappe}$ ,  $VI_{nappe}$  désignent les valeurs limites VR, VS et VI applicables pour l'eau souterraine et définies en  $\mu\text{g/L}$ . Il s'agit des valeurs des paramètres VR, VS et VI figurant dans la colonne « Eaux souterraines » de l'Annexe 1 du « décret sols » et reprises en Annexe B1.

<sup>27</sup> En présence d'une nappe exploitable, les concentrations représentatives sont comparées aux Valeurs Limites indépendamment de la présence ou non d'une prise d'eau.

Par souci de synthèse, l'essentiel des « outils » permettant de mettre en œuvre ces deux paliers d'étude est synthétisé dans le tableau présenté à la section 3.2.



**Caractère indicatif et non contraignant du tableau « tâches et outils » pour l'EDR-SH**

*Le tableau des « tâches et outils » pour l'EDR-SH ne prétend pas être exhaustif. Il appartient, en effet, à l'expert de choisir les outils appropriés en fonction du Modèle conceptuel du site et des objectifs de l'étude. Ainsi, l'expert a la latitude d'utiliser des outils différents de ceux proposés lorsqu'il peut motiver son choix.*

### 3.2 Tableau de synthèse

Les tableaux de synthèse des « tâches et outils » (cf. Tableaux 4 et 5) s'articulent de la façon décrite ci-après :

Objectif	Pour chacun des paliers de l'évaluation des risques pour la santé humaine est rappelé « l'objectif ».
Tâches	Les « tâches » se caractérisent par un regroupement générique des principales actions entreprises lors de l'évaluation simplifiée ou détaillée des risques pour la santé humaine.
Sous-tâches	Le cas échéant, une « tâche » se subdivise en « sous-tâches », lesquelles sont à activer par l'expert en fonction des spécificités de l'évaluation des risques pour la santé humaine.
Input	L'« input » regroupe l'ensemble des informations nécessaires afin de procéder à la tâche ou, le cas échéant, à la sous-tâche.
Vérification	La « vérification » peut être perçue, elle-même, comme une action à entreprendre par l'expert pour la considération d'une « sous-tâche ». Une « vérification » peut nécessiter le recours à certaines « Annexes » afin de pouvoir procéder à cette « vérification ».
Annexes	Une référence à une « Annexe » indique que des informations plus détaillées ou des références sont mises à la disposition de l'expert, de manière à préciser les modalités de réalisation de la « vérification ».
Output	L'« output » regroupe l'ensemble des informations acquises à l'issue de la réalisation de la « tâche » et/ou de la « sous-tâche » après avoir procédé à la « vérification ».
Outils	Différents outils sont proposés, se déclinant selon les objectifs relatifs au palier 1 ou au palier 2 de l'évaluation des risques pour la santé humaine. Le rôle de chaque outil est l'accomplissement de la tâche ou de la sous-tâche relative au palier 1 ou 2.

Tableau 4 – Synthèse des tâches, sous-tâches, outils et données requises dans le cadre de l'ESR-SH.

Objectif	Tâches	Sous-tâches	INPUT	Vérification	Annexe "Vérification"	OUTPUT	Outil							
ESR-SH	Détermination de l'absence de menace grave ou hypothèse de menace grave	Détermination des concentrations représentatives dans le sol	liste des échantillons dans le sol	MCStandard applicable	Annexes B3 et B8	concentration(s) représentative(s) dans le sol Cs (mg/kg)	statistiques (cf. §2.4), outil ESR.xlsm							
			MCS											
		Détermination des concentrations représentatives dans la nappe	liste des échantillons dans la nappe	MCStandard applicable	Annexes B3 et B8	concentration(s) représentative(s) dans la nappe Cn (µg/L)	statistiques (cf. §2.4), outil ESR.xlsm							
		MCS												
	Comparaison des concentrations représentatives aux valeurs limites applicables de premier niveau	Cs	VS <sub>H</sub>	Cn	polluant normé	Annexe I du "décret sols"	caractère acceptable ( <i>pas de MG</i> ) ou non ( <i>hypothèse de MG</i> ) des risques pour la santé humaine au terme de l'ESR-SH	Annexe B1, outil ESR.xlsm						
									Annexe B1					
						VS <sub>nappe</sub> , VS <sub>nappe</sub> [volatilisation]								
	dans le sol	liste de polluants	Cs	VS <sub>H</sub>	VI <sub>H</sub>	polluant normé	Annexe I du "décret sols"	classe de risque (sol) pour la santé humaine						
									Annexe B1					
						dans la nappe	liste de polluants			Cn	VS <sub>nappe</sub>	VI <sub>nappe</sub>	polluant normé	Annexe I du "décret sols"
									Annexe B1					
	classe de risque à retenir	classe de risque (sol)	classe de risque (eau)	-	-	classe de risque globale pour l'ESR-SH	Partie A, § 5.4.2.3 Intégration des classes de risques							
Définition des mesures de sécurité nécessaires au stade ESR	comparaison des concentrations représentatives aux valeurs limites applicables de deuxième niveau	Cs	VI <sub>H</sub>	Cn	VI <sub>nappe</sub>	polluant normé	Annexe I du "décret sols"	besoin en mesures de sécurité et/ou de suivi						
									Annexe B1					
						comparaison des concentrations représentatives des couches de profondeur aux valeurs limites de premier niveau en surface	CS <sub>profondeur</sub>			VS <sub>H</sub>	CS <sub>profondeur</sub> > VS <sub>H</sub>	Annexe B1	nécessité d'une <b>mesure de sécurité</b> visant le non-remaniement des terres	Annexe B1
Définition des objectifs minimum d'assainissement	dans le sol	liste des polluants	MCStandard applicable	Annexe B3 Annexe B8	objectifs minimum d'assainissement	Annexe B1								
	dans la nappe	MCS												

Tableau 5 – Synthèse des tâches, sous-tâches, outils et données requises dans le cadre de l'EDR-SH.

Objectif	Tâches	Sous-tâches	INPUT	Vérification	Annexe "Vérification"	OUTPUT	Outil
EDR-SH	Identification de la présence ou de l'absence de MG	Détail du MCS et sélection des données et paramètres nécessaires au calcul des doses d'exposition	Choix du scénario	type d'usage	Annexe B3	fichier .LND reprenant le scénario standard (existant) ou un scénario spécifique au site (créé)	RISC Human® v3.3
				voies de transfert pertinentes			
				cibles			
				caractéristiques des bâtiments			
				temps d'exposition			
			...				
			Caractérisation du sol	type de sol	Annexe B9	fichier .LND reprenant les propriétés du sol standard (existant) ou les propriétés du sol spécifiques au site (créé)	Mesures <i>in situ</i> / RISC Human® v3.3
				taux de matières organiques			
				pH			
				granulométrie			
			...				
			Caractérisation de la nappe	-	-	profondeur de la nappe	Mesures <i>in situ</i>
			Caractérisation de la pollution	-	-	concentrations représentatives dans les différents milieux	Mesures <i>in situ</i>
						profondeur(s) représentative(s) de la/des pollution(s)	
Phases libres							
<b>Concentrations de fond</b>			Application mise à disposition par la DGO3-DPS				
Caractérisation du polluant normé	Liste des polluants à retenir pour l'EDR-SH	-	fichier .SUB reprenant la fiche du polluant (existante cf. annexe B4)	RISC Human® v3.3			
Caractérisation du polluant non normé	Liste des polluants à retenir pour l'EDR-SH	Existence d'une fiche polluant (paramètres physico-chimiques)	fichier .SUB de RISC Human® v3.3	fichier .SUB reprenant la fiche du polluant (reprise, modifiée ou créée)	Littérature (cf. § 4.3.2.1.1)/ RISC Human® v3.3		
Identification des dangers - définition des relations dose/réponse	Identification des VTR	Liste de polluants	VTRor répertoriée	Annexe B5	VTRor	Annexes B5 (VTR répertoriées) ou B7 (VTR non répertoriées)	
			VTRinh répertoriée		VTRinh		
			caractère cancérigène et génotoxique ou organe-cible				
			facteurs d'incertitude UF associés à VTRor et à VTRinh				
Evaluation des expositions	Calcul des doses d'exposition	module (CSOIL / VOLASOIL)	-	-	Doses d'exposition pour les voies pertinentes pour l'adulte et l'enfant ( <i>uptake table</i> )	RISC Human® v3.3	
		fichier .LND					
		Fichier .SUB					
		concentrations représentatives					
		profondeur(s) représentative(s)					
mesures dans les différents milieux							
Caractérisation des risques	Calcul des IR pour la voie orale (et contact dermique)	VTRor			IRor pour les polluants à effets à seuil et à effets sans seuil	Outil mis à disposition par la DPS : Calc_IR_RISC-Human.xlsm et Pollution_Analysis_Tool.xlsm	
		doses pour la voie orale et le contact dermique					
	VTRinh	IRinh pour les polluants à effets à seuil et à effets sans seuil					
	doses pour la voie inhalatoire						

Objectif	Tâches	Sous-tâches	INPUT	Vérification	Annexe "Vérification"	OUTPUT	Outil
	Interprétation des résultats, conclusions et recommandations	Vérification des effets synergiques	Liste de polluants i	plusieurs polluants agissent sur le même organe-cible	Annexe B6	IRG <sub>organe-cible</sub>	Tableau 2 (IR-I) / §2.15 Annexe B6 Outil mis à disposition par la DPS : Calc_IR_RISC-Human.xlsm et Pollution_Analysis_Tool.xlsm
			IR <sub>i</sub> pour les voies orale et inhalatoire				
			IR <sub>i-l</sub> pour les voies orale et inhalatoire				
		organes-cible					
Définition des objectifs minimum d'assainissement	dans le sol	liste de polluants					RISC Human® v3.3 Outil mis à disposition par la DPS : Calc_IR_RISC-Human.xlsm et Pollution_Analysis_Tool.xlsm
	dans la nappe	MCS	-	-	Objectifs minimum d'assainissement		

## 4. Méthodologie

### 4.1 Présentation des étapes générales de la procédure

Pour rappel, l'évaluation des risques pour la santé humaine consiste en une démarche se déclinant en deux paliers de complexité croissante (cf. 3.1) :

- évaluation simplifiée des risques (ESR-SH – Palier 1) ;
- évaluation détaillée des risques (EDR-SH – Palier 2).

Chacun de ces paliers est représenté à la

Figure 2 ; ils sont décrits dans les sections 4.2 pour l'ESR-SH (palier 1) et 4.3 pour l'EDR-SH. Y sont présentés les principes et étapes générales ainsi que les méthodes et outils utilisés respectivement aux paliers 1 et 2 afin de se prononcer sur l'absence de « menace grave », sur l'existence d'une « menace grave » à titre d'hypothèse (au stade de l'ESR-SH) ou sur l'existence d'une « menace grave » (au stade de l'EDR-SH).



***Recours à l'utilisation des critères additionnels relatifs à la menace grave et à la nécessité de l'assainissement (cf. partie A-GRER – section 5.6.1)***

*Toutes les règles détaillées dans les sections suivantes pour l'ESR-SH et l'EDR-SH supposent la vérification – par l'expert – des critères additionnels relatifs à la menace grave qui sont d'application et qui ont pu être vérifiés au stade de l'EC.*

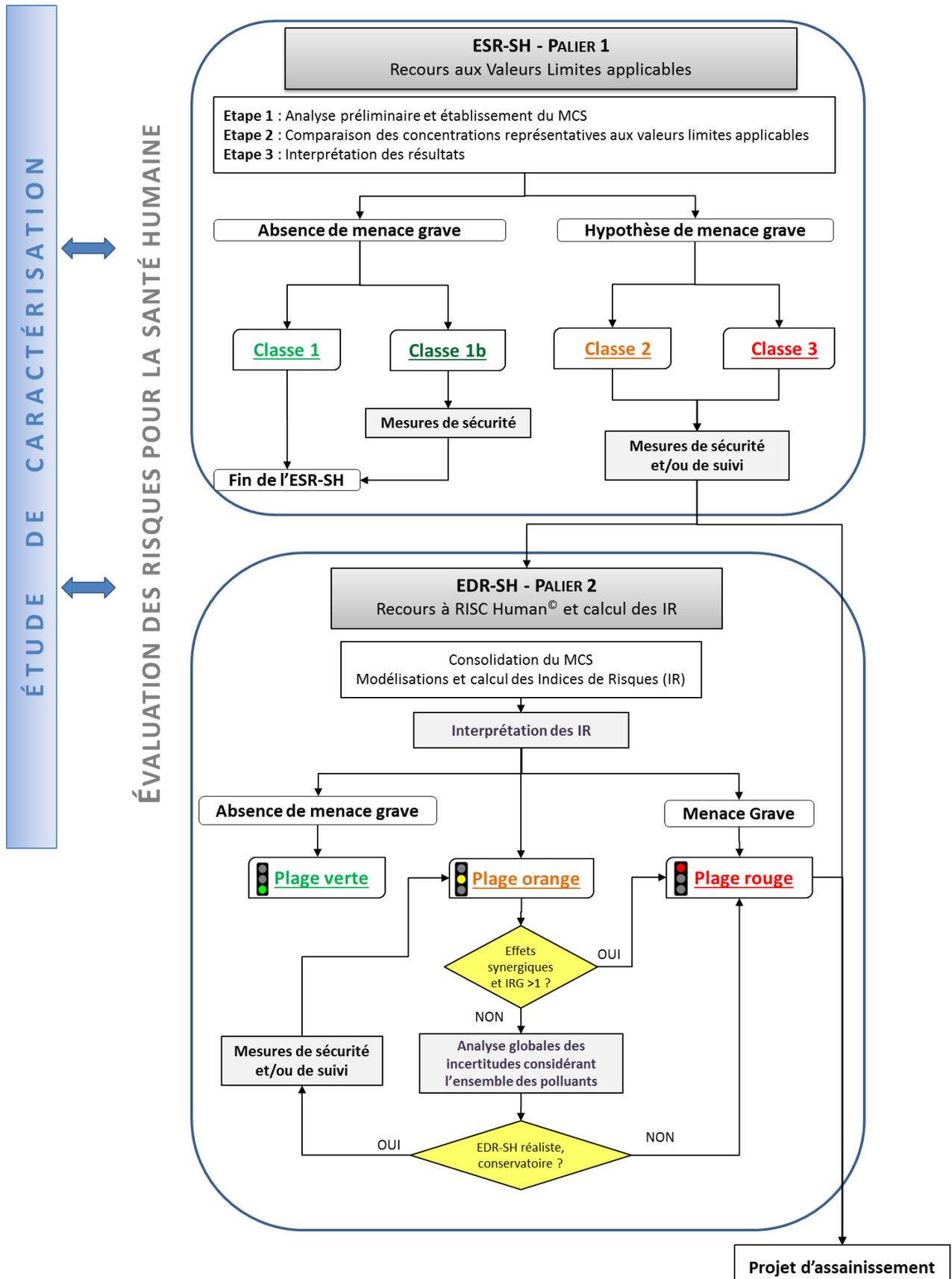


Figure 2 – Schématisation des deux paliers de l'ER-Santé humaine : l'ESR-SH (palier 1) et l'EDR-SH (palier 2).

## 4.2 Evaluation Simplifiée des Risques pour la Santé Humaine (ESR-SH)

### 4.2.1 Principes et étapes générales de l'ESR-SH

Les méthodes générales de l'ESR ont été présentées dans la partie A. Pour la santé humaine, les quatre étapes de l'ESR-SH sont décrites ci-dessous et illustrées par le logigramme suivant (Figure 3).

- **Etape 1** : un travail d'analyse préliminaire et d'établissement du MCS : ce travail a pour objet de définir les unités spatiales d'analyse (en tenant compte du MCS établi au cours de l'EC et qui pourra éventuellement être ajusté dans le cadre de l'ESR-SH), de vérifier l'applicabilité du MCS standard et de préciser, pour chacune des unités spatiales d'analyse, les concentrations représentatives en polluants à retenir dans le cadre de l'ESR-SH ;
- **Etape 2** : un travail de comparaison des concentrations représentatives
  - dans le sol (Zone Non Saturée ZNS) : aux valeurs limites de premier niveau, soit les  $VS_H$ , et de deuxième niveau, soit les  $VI_H$ . Dans le cas où le **terrain** est situé en zone de prévention de captage, l'évaluation des risques pour le critère « santé humaine » est réalisée en intégrant les valeurs de premier et de deuxième niveau reprises à l'annexe I du « décret sols » pour l'usage (les usages) correspondant aux **scénarios actuels, potentiels** et projets (voir point 3.5 de la partie A du GRER) ;
  - dans l'eau souterraine :
    - aux valeurs limites  $VS_{nappe}$  et  $VI_{nappe}$  telles que figurant à l'Annexe 1 du « décret sols » afin de prévenir les risques associés à l'usage de l'eau souterraine (notamment à des fins de production alimentaire) dans le cas des nappes exploitables (concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1)<sup>28</sup>, et
    - aux valeurs limites  $VS_{nappe [volatilisation]}$  qui visent à prévenir les risques qui pourraient être générés par la volatilisation des polluants depuis la nappe<sup>29</sup>.

L'ensemble de ces valeurs limites sont reprises à l'**Annexe B1**.

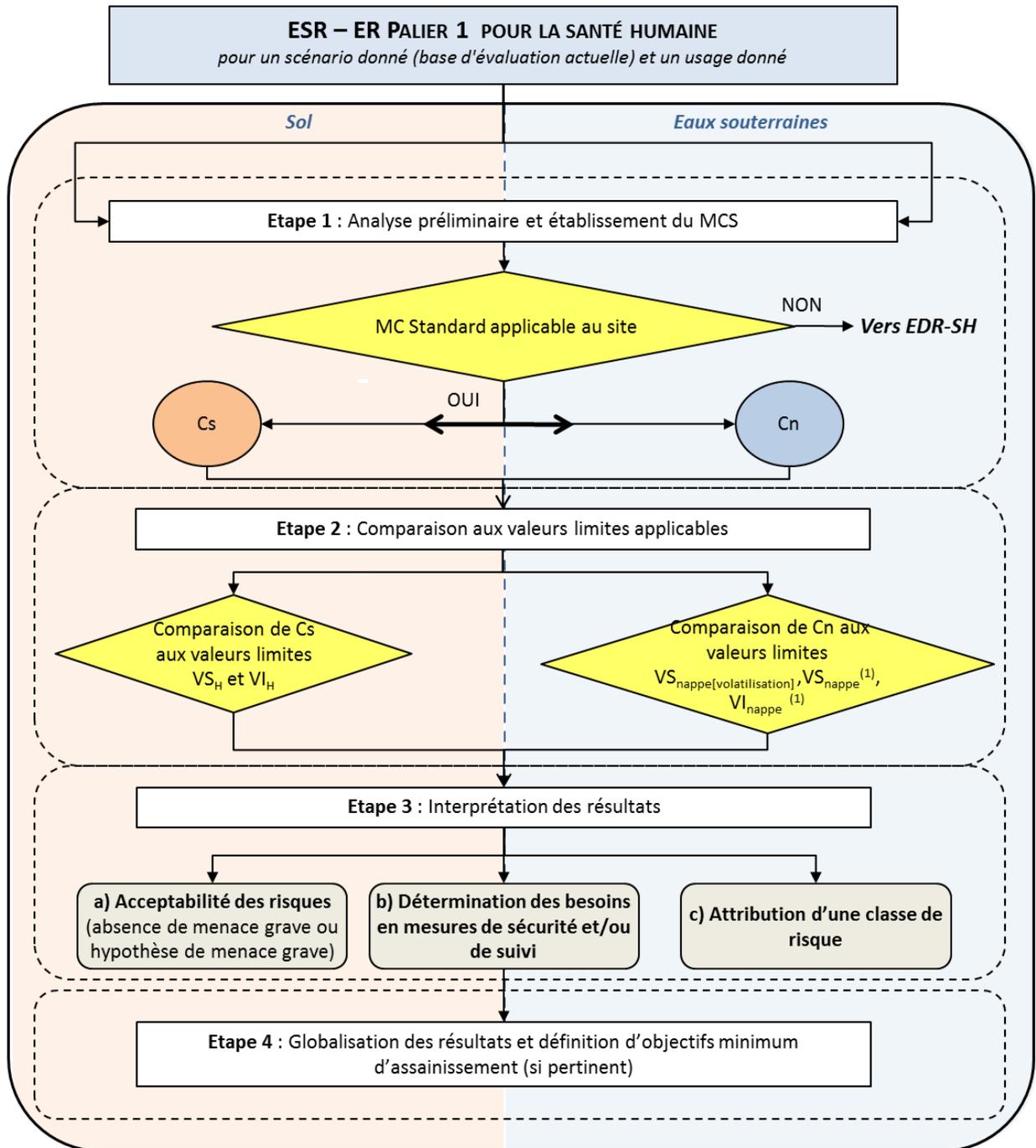
Pour ce travail de comparaison des concentrations aux valeurs limites, l'expert utilisera également l'outil informatique *ESR.xls/m* mis à disposition des bureaux d'études.

- **Etape 3** : un travail d'interprétation des résultats pour chacune des unités spatiales d'analyse, portant sur les trois objets suivants :
  - 1) l'acceptabilité des risques sur base des résultats des tests de comparaison aux valeurs limites de premier niveau :
    - soit les risques peuvent être déclarés acceptables (pas de « menace grave ») sans aller plus loin, signifiant la fin de l'évaluation simplifiée des risques pour la santé humaine ;
    - soit la « menace grave » est maintenue à titre d'hypothèse, pour laquelle il y a donc lieu
      - soit de poursuivre l'évaluation des risques pour la santé humaine avec les méthodes de l'EDR-SH,

<sup>28</sup> La comparaison aux valeurs limites dans l'eau souterraine est pertinente dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé humaine, étant donné que les valeurs de  $VS_{nappe}$  et  $VI_{nappe}$  ont entre autres été élaborées sur la base d'un critère visant à prévenir les risques pour la santé humaine. Cette comparaison se fera indépendamment de la présence ou non d'une prise d'eau. Dans la mesure où cette comparaison a déjà été réalisée au stade de l'EC. Il suffira dès lors à l'expert de récupérer les résultats à l'issue de l'EC.

<sup>29</sup> Que la nappe soit exploitable ou non (cf. concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1).

- soit de procéder directement à un projet d'assainissement ;
  - 2) la détermination, le cas échéant, des besoins en mesures de sécurité et/ou de suivi pour la protection de la santé humaine au terme de l'ESR ;
  - 3) l'attribution d'une classe de risque (1, 2, ou 3) pour la santé humaine ;
- **Etape 4** : un travail de globalisation des résultats d'interprétation et de définition d'objectifs minimum d'assainissement, le cas échéant.



<sup>1</sup> Dans le cas des nappes exploitables exclusivement.

MCS = Modèle Conceptuel du Site

Cs = Concentration représentative dans le sol [mg/kg]

Cn = Concentration représentative dans la nappe phréatique [µg/L]

$VS_H$  = Valeur Seuil pour la santé humaine [mg/kg]

$VI_H$  = Valeur d'Intervention pour la santé humaine [mg/kg]

$VS_{nappe}$  = Valeur Seuil du « décret sols » pour les eaux souterraines [µg/L]

$VS_{nappe[volatilisation]}$  = Valeur limitant les risques pour la santé humaine par volatilisation des polluants depuis la nappe [µg/L]

$VI_{nappe}$  = Valeur d'Intervention du « décret sols » pour les eaux souterraines [µg/L]

**Figure 3 – Schématisation des quatre étapes de l'évaluation simplifiée des risques pour la santé humaine (ESR-SH)**

## 4.2.2 Méthode et outils pour l'ESR-SH

### 4.2.2.1 Etape 1 : analyse préliminaire et établissement du MCS

Le travail d'analyse préliminaire des données (Figure 4) aura normalement été effectué dans le cadre général de la phase de traitement (notamment le travail de comparaison aux normes du « décret sols ») et d'interprétation des résultats de l'étude de caractérisation (EC) (cf. GREC, section 2.3).

Ce travail d'analyse préliminaire pourra être complété par une ultime vérification qui peut s'avérer intéressante, plus particulièrement en présence de polluants volatils dans les eaux souterraines. A l'aide de l'outil *ESR.xlsm* mis à disposition des bureaux d'études, l'expert complètera, le cas échéant, la liste des polluants à retenir pour l'étape 2 de l'ESR décrite ci-dessous.

A l'issue de ce travail d'analyse préliminaire, l'expert aura identifié :

- d'une part, les polluants normés, soit :
  - ceux dont les concentrations dans le sol dépassent les VS du « décret sols » ;
  - ceux dont les concentrations dans les eaux souterraines dépassent les  $VS_{nappe}$  (cas des nappes exploitables) ;
  - ceux dont les concentrations dans les eaux souterraines dépassent les  $VS_{nappe[volatilisation]}$  (cas des nappes exploitables et non exploitables)<sup>30</sup> ;
- et, d'autre part, les polluants non normés (polluants<sup>31</sup> analysés et non repris à l'Annexe 1 du « décret sols » devant faire l'objet d'une EDR-SH) (cf. 4.3).

Les données relatives à la caractérisation des pollutions (taches polluées et zones de remblais pollués) et, si pertinent, à la cartographie de leurs extensions spatiales seront mises en perspective avec celles relatives à la configuration du site et aux différents types d'usage qui prévalent pour le terrain (en n'oubliant pas de distinguer – le cas échéant – les scénarios à la fois actuels et potentiels d'utilisation des différentes parties du site (cf. partie A, section 3.5)). Ce travail permettra d'identifier les différentes « sources » (d'exposition) présentes et qui pourront servir d'unités spatiales d'analyse pour l'application des méthodes de l'ESR-SH.

Ces unités spatiales pourront éventuellement encore être subdivisées selon la configuration des zones, par exemple pour prendre en compte un scénario potentiel lié à la présence de revêtements.

Pour chacune des unités spatiales d'analyse, l'expert identifiera les cibles (et les **zones** récepteur y afférentes) et les différentes voies de transfert qui permettent aux sources d'entrer en contact avec ces cibles (Modèle conceptuel du site ; chaîne S-T-C). Le MCS préalablement établi au stade de l'EC sera ajusté si nécessaire.

Par référence à cette analyse l'expert évaluera le ou les scénario(s) standard(s) applicable(s). Pour évaluer si le(s) scénario(s) standard(s) est/sont applicable(s) ou non, l'expert devra vérifier – en s'appuyant sur l'**Annexe B3** et l'**Annexe B8** - si les hypothèses du scénario d'exposition standard retenu sont précautionneuses par rapport à l'usage actuel (ou potentiel) considéré pour la zone.

<sup>30</sup> Certaines  $VS_{nappe}$  volatilisation sont inférieures aux  $VS_{nappe}$  de l'annexe 1 du « décret sols » (cas du mercure, des cyanures libres et de certaines fractions EC aliphatiques – voir annexe B1). Dans la présente version du GRER, dans les logigrammes ainsi que dans l'outil ESR, il est proposé de tenir compte de ces informations lors du rapportage même si selon le § 5.6.1.1.2 de la partie A, il ne peut être conclu à une hypothèse de menace grave. L'administration invite l'expert à être particulièrement attentif à ce point.

<sup>31</sup> Il s'agit des polluants qui ont été identifiés comme pertinents à l'issue de l'étude historique, analysés et quantifiés dans le cadre de l'EC.

Par défaut, les valeurs limites (de 1<sup>er</sup> et de 2<sup>ème</sup> niveau) précisées à l'**Annexe B1** pour le(s) scénario(s) standard(s) seront utilisées par l'expert pour l'usage actuel (et/ou potentiel) retenu<sup>32</sup>, sauf à démontrer :

- que des **voies d'exposition** particulières (non prises en compte dans les scénarios standards – cf. Tableau 9) doivent être considérées (cas de l'ingestion de poisson, de l'ingestion d'œufs, le contact cutané avec l'eau de baignade, l'ingestion d'eau provenant d'un captage) ;
- que les cibles sont exposées durant des temps d'exposition significativement différents de ceux retenus dans les scénarios standards ;
- que des cibles plus sensibles doivent être considérées (se référer au point 4.3.2.1.3 pour les cas particuliers qui pourraient amener l'expert à considérer ces cibles plus sensibles aux effets d'un polluant)

Les valeurs limites (de 1<sup>er</sup> et de 2<sup>ème</sup> niveau) précisées à l'**Annexe B1** ne seront jamais applicables aux échantillons de sol ou d'eau affectés par la présence :

- d'une phase libre dans le sol ou dans les eaux souterraines (les équations de CSOIL retenues pour le calcul des valeurs limites n'étant pas valides)<sup>33</sup>,
- d'hydrocarbures pétroliers pour lesquels la proportion entre les composés aliphatiques et aromatiques serait connue et significativement différente de celle considérée par défaut (70 % d'aliphatiques et 30 % d'aromatiques) (comme par exemple dans le cas d'une pollution de nature clairement identifiée) (cf. 4.2.2.2.1).

Si les valeurs limites ne peuvent pas être raisonnablement retenues pour les raisons évoquées *supra*, l'expert devra :

- soit reporter l'évaluation de la zone considérée à l'étape de l'EDR-SH ;
- soit procéder directement à un assainissement.

A l'issue de l'étape 1, l'expert établira, pour chacune de ces unités spatiales d'analyse et en se référant aux principes énoncés à la section 2.4, la ou les concentrations représentatives des différents polluants pertinents à retenir pour l'**étape 2** de l'ESR-SH.

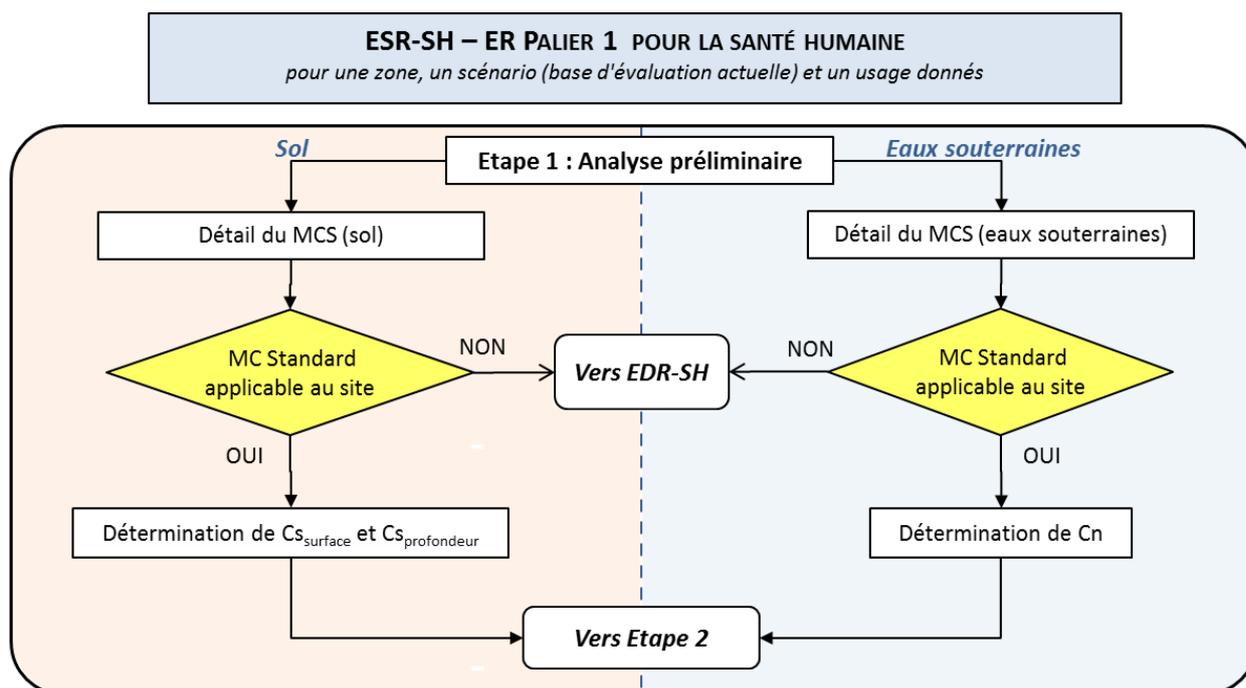
Les données distingueront, dans la mesure où cela se justifie, les concentrations représentatives des couches de surface (0-1 m-n) et les concentrations représentatives de la couche de profondeur (> 1 m-n).

---

<sup>32</sup> Même si les paramètres constructifs des bâtiments diffèrent significativement de ceux considérés pour l'établissement des  $VS_H$  (cas d'un bâtiment construit sur dalle en béton ou sur cave munie d'une dalle en béton au lieu d'un bâtiment sur vide ventilé), les  $VS_H$  pourront être retenues car elles sont suffisamment précautionneuses. En effet, il peut être démontré avec le logiciel RISC Human<sup>®</sup> v3.3 (CSOIL) que pour une concentration en un polluant volatil équivalente à  $VS_H$ , les concentrations estimées à l'intérieur du bâtiment ( $C_{ia}$ ) dans le cas d'un bâtiment sur vide ventilé sont supérieures à celles qui seraient calculées pour un bâtiment sur cave/vide ventilé muni(e) d'une dalle en béton, elles-mêmes supérieures à celles qui seraient calculées pour un bâtiment sur dalle en béton (pas de cave, ni de vide ventilé). Etant donné qu'une concentration en polluant équivalente à  $VS_H$  permet d'assurer l'absence de risques (pour un polluant à seuil) ou des risques acceptables (pour les polluants à effet « sans seuil »), il en sera de même dans les deux autres cas de figure.

Il peut également être démontré que les  $VS_H$  restent précautionneuses et par conséquent applicables – compte tenu des flux pris en considération et des équations retenues dans RISC Human<sup>®</sup> – dans le cas d'une pollution qui serait présente dans la couche de surface.

<sup>33</sup> Se référer aux conditions rendant l'assainissement systématiquement nécessaire définies au point 5.6.1.2 dans la partie A du GRER.



MCS = Modèle Conceptuel du Site

EDR-SH = Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine

Cs<sub>surface</sub> = Concentration représentative de la couche de surface du sol (0-1m-ns) [mg/kg]

Cs<sub>profondeur</sub> = Concentration représentative des couches profondes du sol (>1m-ns) [mg/kg]

Cn = Concentration représentative dans la nappe phréatique [µg/L]

Figure 4 – Logigramme décisionnel pour l'étape 1 d'analyse préliminaire de l'ESR-SH

#### 4.2.2.2 Etape 2 : comparaison des concentrations représentatives en polluants aux valeurs limites de premier et deuxième niveau

Les données des concentrations représentatives en polluant dans les sols des différentes unités d'analyse – éventuellement distinguées pour la couche de surface et les couches de profondeur - seront confrontées aux valeurs limites (cf. Tableau 6) :

- de premier niveau, soit les Valeurs Seuil pour la santé humaine ( $VS_H$ )
- et de deuxième niveau, soit Valeurs d'Intervention pour la santé humaine ( $VI_H$ ).

Ces valeurs sont fournies à l'**Annexe B1**.

Les données des concentrations représentatives dans l'eau souterraine feront également l'objet d'une comparaison aux valeurs limites (cf. Tableau 6) correspondant :

- aux valeurs limites  $VS_{nappe}$  (valeur limite de 1<sup>er</sup> niveau) et  $VI_{nappe}$  (valeur limite de 2<sup>ème</sup> niveau) telles que figurant à l'Annexe 1 du « décret sols » (valeurs VS reprises dans la colonne « eau souterraine ») afin de prévenir les risques associés à l'usage de l'eau souterraine (notamment à des fins de production alimentaire <sup>34</sup>) dans le cas des nappes exploitables (concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1) <sup>35</sup>, et
- aux valeurs  $VS_{nappe[volatilisation]}$  (valeur limite de premier niveau) : ces valeurs limites sont destinées à prévenir les risques qui pourraient être générés par la volatilisation des polluants depuis la nappe <sup>36</sup>.

Le Tableau 6 synthétise les valeurs limites de premier et de deuxième niveau pour les concentrations dans le sol et dans l'eau souterraine. Les valeurs limites à utiliser pour les cas particuliers qui sont le mercure total et les hydrocarbures pétroliers sont explicitées ci-dessous (cf. 4.2.2.2.1 et 4.2.2.2.2). L'ensemble de ces valeurs sont fournies à l'**Annexe B1**. Celles-ci sont également reprises dans l'outil *ESR.xlsm* mis à disposition des bureaux d'études.

**Tableau 6 – Valeurs limites de premier et de deuxième niveau pour l'ESR-SH reprises à l'Annexe B1.**

	Valeurs limites	
	premier niveau	2 <sup>ème</sup> niveau
<b>dans le sol</b>	$VS_H$	$VI_H$
<b>dans l'eau souterraine (nappe exploitable)</b>	$VS_{nappe}$	$VI_{nappe}$
	$VS_{nappe [volatilisation]}$	-
<b>dans l'eau souterraine (nappe non exploitable)</b>	$VS_{nappe [volatilisation]}$	-

<sup>34</sup> Des références pourront être fournies ultérieurement à propos des critères de qualité de l'eau souterraine applicables pour prévenir les risques associés à d'autres types d'usage (domestique, irrigation, ou usage industriel) et fixer les mesures de sécurité en conséquence.

<sup>35</sup> Au stade de l'ESR-SH, cette comparaison se fera indépendamment de la présence ou non d'une prise d'eau dans la nappe exploitable.

<sup>36</sup> Que la nappe soit exploitable ou non (cf. concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1).

A l'issue de l'étape 2, l'expert identifiera :

- d'une part, les polluants normés à retenir pour l'étape 3 de l'ESR décrite ci-dessous, soit :
  - ceux dont les concentrations représentatives dans le sol dépassent les  $VS_H$  ;
  - ceux dont les concentrations représentatives dans les eaux souterraines dépassent les  $VS_{nappe}$  et/ou les  $VS_{nappe}$  (volatilisation) ;
- et, d'autre part, les polluants non normés devant faire l'objet d'une EDR-SH (cf. 4.3).

#### 4.2.2.2.1 Cas particulier des hydrocarbures pétroliers

Dans le cas particulier des hydrocarbures pétroliers constitués d'un mélange de polluants aux propriétés physico-chimiques et toxicologiques distinctes, une approche par fractions – exprimées en équivalent carbone (EC)<sup>37</sup> – a été retenue plutôt qu'une approche directe des mélanges ou par recours à des composés indicateurs.

Au total, six fractions globales sont définies (fractions  $EC_{5-8}$ ,  $EC_{>8-10}$ ,  $EC_{>10-12}$ ,  $EC_{>12-16}$ ,  $EC_{>16-21}$  et  $EC_{>21-35}$ ) en supposant que chacune d'entre elles se compose d'une combinaison de 30% d'hydrocarbures aromatiques et de 70% d'hydrocarbures aliphatiques (cf. B8-2.4). Le tableau ci-dessous précise les fractions aromatiques et aliphatiques constitutives de chacune des fractions globales.

**Tableau 7 – Composition des fractions globales d'hydrocarbures pétroliers**

Fraction globale EC	Composition des fractions globales	
	Composés aliphatiques	Composés aromatiques
$EC_{5-8}$	$EC_{5-6}$ ali $EC_{>6-8}$ ali	$EC_{>6-7}$ arom $EC_{>7-8}$ arom
$EC_{>8-10}$	$EC_{>8-10}$ ali	$EC_{>8-10}$ arom
$EC_{>10-12}$	$EC_{>10-12}$ ali	$EC_{>10-12}$ arom
$EC_{>12-16}$	$EC_{>12-16}$ ali	$EC_{>12-16}$ arom
$EC_{>16-21}$	$EC_{>16-21}$ ali	$EC_{>16-21}$ arom
$EC_{>21-35}$	$EC_{>21-35}$ ali	$EC_{>21-35}$ arom

Plusieurs cas de figure doivent être distingués selon qu'un split aromatique/aliphatique ait été réalisé ou non sur les échantillons de sol et/ou d'eau souterraine.

En l'absence d'un split aromatique/aliphatique pour les résultats analytiques relatifs au sol :

- Les résultats analytiques – obtenus sur base d'un « découpage » de chromatogrammes<sup>38</sup> – sont comparés aux valeurs limites établies pour chacune des fractions globales.
- Lorsque les résultats analytiques sont fournis pour les fractions globales – soit pour les fractions  $EC_{5-8}$ ,  $EC_{>8-10}$ ,  $EC_{>10-12}$ ,  $EC_{>12-16}$ ,  $EC_{>16-21}$  et  $EC_{>21-35}$  – les concentrations

<sup>37</sup> Le nombre d'équivalent carbone (EC) d'un composé organique donné fournit le nombre d'atomes de carbone d'un n-alcane hypothétique qui aurait le même point d'ébullition et le même temps de rétention dans une colonne chromatographique que celui dudit composé organique.

<sup>38</sup> Le chromatogramme est découpé en fractions exprimées en équivalent carbone (EC) :  $EC_{5-8}$ ,  $EC_{>8-10}$ ,  $EC_{>10-12}$ ,  $EC_{>12-16}$ ,  $EC_{>16-21}$  et  $EC_{>21-35}$  en prenant comme bornes les n-alcane  $C_5$ ,  $C_8$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{16}$ ,  $C_{21}$  et  $C_{35}$  (utilisés comme composés marqueurs). Ainsi, l'ensemble des composés aliphatiques et aromatiques ayant des temps de rétention semblables aux n-alcane sont quantifiés entre les bornes desdits alcane. Par exemple, dans la fraction délimitée par les n-alcane  $C_{>12-16}$ , seront quantifiés les composés aliphatiques  $EC_{>12-16}$  et les composés aromatiques  $EC_{>12-16}$ . Il faut cependant signaler qu'actuellement, les résultats analytiques sont exprimés par les laboratoires en atome de carbone et non en équivalent carbone.

représentatives dans le sol seront confrontées aux Valeurs Seuil pour la santé humaine ( $VS_{H-fraction\ ECi}$ ) et aux Valeurs d'Intervention pour la santé humaine ( $VI_{H-fraction\ EC}$ ) de la fraction globale correspondante. Ces valeurs sont fournies à l'**Annexe B1**.

- Dans l'hypothèse où les résultats analytiques seraient fournis pour une fraction EC qui recouvre plusieurs autres fractions EC pour lesquelles les Valeurs Seuil pour la santé humaine ont été définies (par exemple la fraction  $EC_{>10-16}$  qui regroupe la fraction  $EC_{>10-12}$  et  $EC_{>12-16}$ ), les concentrations représentatives de cette fraction seront confrontées aux valeurs seuil pour la santé humaine de chacune des fractions. Ainsi, reprenant l'exemple mentionné *supra*, la concentration représentative de la fraction  $EC_{>10-16}$  sera comparée successivement :
  - aux valeurs limites établies pour la fraction  $EC_{>10-12}$ , supposant ainsi que la fraction  $EC_{>10-16}$  est majoritairement constituée de composés  $EC_{>10-12}$ ,
  - aux valeurs limites établies pour la fraction  $EC_{>12-16}$ , supposant ainsi que la fraction  $EC_{>10-16}$  est majoritairement constituée de composés  $EC_{>12-16}$ .
- Dans l'hypothèse où les résultats analytiques seraient fournis pour des fractions distinctes (par exemple fraction  $EC_{>16-20}$ ,  $EC_{>16-22}$ ), l'expert confrontera les résultats analytiques aux valeurs limites établies pour la fraction la plus « proche » et la plus sensible. Ainsi pour l'exemple cité *supra*, les concentrations représentatives des fractions  $EC_{>16-20}$  ou  $EC_{>16-22}$  seront comparées aux valeurs limites de la fraction  $EC_{>16-21}$ .
- Dans l'hypothèse où l'expert disposerait de résultats analytiques pour les fractions suivantes :
  - fractions  $EC_{>20-30}$  et  $EC_{>30-40}$  ;
  - ou fractions  $EC_{>20-30}$  et  $EC_{>30-35}$  ;
  - ou fractions  $EC_{>22-30}$  et  $EC_{>30-35}$  ;
  - ou fractions  $EC_{>22-30}$  et  $EC_{>30-40}$  ;

l'expert confrontera la somme des concentrations aux valeurs limites établies pour la fraction  $EC_{>21-35}$ .

Si les résultats analytiques disponibles sont issus d'un split aromatique/aliphatique, les concentrations représentatives dans le sol seront confrontées aux Valeurs Seuil pour la santé humaine ( $VS_{H-fraction\ ECi\ arom}$  et  $VS_{H-fraction\ ECi\ ali}$ ) et aux Valeurs d'Intervention pour la santé humaine ( $VI_{H-fraction\ ECi\ arom}$  et  $VI_{H-fraction\ ECi\ ali}$ ) de chacune des fractions aromatique et aliphatique correspondante. Ces valeurs sont fournies à l'**Annexe B1**.

En ce qui concerne les concentrations représentatives dans l'eau souterraine, ces valeurs seront comparées :

- en l'absence d'un split aromatique/aliphatique :
  - aux valeurs  $VS_{nappe}$  et  $VI_{nappe}$  telles que figurant à l'Annexe 1 du « décret sols » (valeurs VS reprises dans la colonne « eau souterraine ») afin de prévenir les risques associés à l'usage de l'eau souterraine notamment à des fins de production alimentaire<sup>39</sup> (cas des nappes exploitables ; cf. Partie C, section 2.3.1)<sup>40</sup>; ces valeurs sont fournies à l'**Annexe B1** ;

<sup>39</sup> Des références seront fournies ultérieurement à propos des critères de qualité de l'eau souterraine applicables pour prévenir les risques associés à d'autres types d'usage (domestique, irrigation, ou usage industriel) et fixer les mesures de sécurité en conséquence.

- aux valeurs de  $VS_{nappe[volatilisation]}$  spécifiées pour chacune des fractions aromatiques et aliphatiques constituant la fraction globale<sup>41</sup> sur la base d'une composition hypothétique de 30 % de composés aromatiques et 70 % de composés aliphatiques ; ces valeurs limites sont destinées à prévenir les risques qui pourraient être générés par la volatilisation des polluants depuis la nappe<sup>42</sup>; ces valeurs sont fournies à l'Annexe B1.

	<p><b>Comparaison des concentrations en polluants dans les eaux souterraines aux valeurs équivalentes<sup>43</sup> <math>VS_{nappe}</math> et <math>VI_{nappe}</math> définies pour les fractions aromatiques et aliphatiques des hydrocarbures pétroliers</b></p> <p><u>En l'absence d'un split aromatique/aliphatique, l'expert ne pourra jamais se prononcer sur l'absence de « menace grave » sur base de la comparaison des concentrations en polluants dans les eaux souterraines aux valeurs équivalentes <math>VS_{nappe}</math> et <math>VI_{nappe}</math> calculées pour chacune des fractions aromatiques et aliphatiques constituant la fraction globale sur la base d'une composition hypothétique de 30 % de composés aromatiques et 70 % de composés aliphatiques.</u></p> <p><i>Bien que cette comparaison puisse être effectuée dans l'outil ESR.xlsm, elle ne peut être considérée qu'à titre orientatif.</i></p>
---	---

- en présence d'un split aromatique/aliphatique :
  - à des valeurs équivalentes aux  $VS_{nappe}$  et  $VI_{nappe}$  calculées pour chacune des fractions aromatiques et aliphatiques afin de prévenir les risques associés à l'usage de l'eau souterraine notamment à des fins de production alimentaire (cas des nappes exploitables ; cf. Partie C, section 2.3.1) ; ces valeurs sont fournies à l'Annexe B1 ;
  - à des valeurs de  $VS_{nappe [volatilisation]}$  calculées pour chacune des fractions aromatiques et aliphatiques et destinées à prévenir les risques qui pourraient être générés par la volatilisation des polluants depuis la nappe ; ces valeurs sont fournies à l'Annexe B1.

Le tableau repris ci-dessous synthétise les valeurs limites à retenir pour les hydrocarbures pétroliers.

**Tableau 8 – Synthèse des valeurs limites à retenir pour les hydrocarbures pétroliers**

Valeurs limites pour les hydrocarbures pétroliers			
en l'absence d'un split aromatique/aliphatique		lorsqu'un split aromatique/aliphatique est disponible	
	1 <sup>er</sup> niveau	2 <sup>ème</sup> niveau	
			1 <sup>er</sup> niveau
			2 <sup>ème</sup> niveau
dans le sol	$VS_{H-fraction\ ECI}$	$VI_{H-fraction\ ECI}$	$VS_{H-fraction\ ECI\ arom}$
			$VI_{H-fraction\ ECI\ arom}$
			$VS_{H-fraction\ ECI\ ali}$
			$VI_{H-fraction\ ECI\ ali}$

<sup>40</sup> Au stade de l'ESR-SH, cette comparaison se fera indépendamment de la présence ou non d'une prise d'eau dans la nappe exploitable.

<sup>41</sup> Il n'est pas possible d'établir des  $VS_{nappe [volatilisation]}$  pour les fractions globales.

<sup>42</sup> Que la nappe soit exploitable ou non (cf. concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1).

<sup>43</sup> Ces valeurs ont été calculées en considérant que 10 % de la Valeur toxicologique de référence soit allouée à la consommation quotidienne de 2 litres d'eau de boisson par un adulte pesant 60 kg. (Source : Annexe II. Propositions de "normes" pour l'interprétation des mesures de concentrations en polluants dans les sols et les eaux souterraines. Version 3-mise à jour 30 octobre 2008 – Document de consultation SPAQuE. ).

Valeurs limites pour les hydrocarbures pétroliers					
		en l'absence d'un split aromatique/aliphatique		lorsqu'un split aromatique/aliphatique est disponible	
		1 <sup>er</sup> niveau	2 <sup>ème</sup> niveau	1 <sup>er</sup> niveau	2 <sup>ème</sup> niveau
dans l'eau souterraine (nappe exploitable)(*)		$VS_{\text{nappe-fraction ECI}}$	$VI_{\text{nappe-fraction ECI}}$	$VS_{\text{nappe-fraction ECI arom}}$	$VI_{\text{nappe-fraction ECI arom}}$
				$VS_{\text{nappe-fraction ECI ali}}$	$VI_{\text{nappe-fraction ECI ali}}$
		$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI arom}}$	-	$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI arom}}$	-
		$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI ali}}$	-	$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI ali}}$	-
dans l'eau souterraine (nappe non exploitable)(*)		$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI arom}}$	-	$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI arom}}$	-
		$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI ali}}$	-	$VS_{\text{nappe [volatilisation]-fraction ECI ali}}$	-

(\*) D'après le concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1.

#### 4.2.2.2 Cas particulier du mercure

Les concentrations représentatives en mercure total dans le sol seront comparées aux valeurs limites ( $VS_H$  et  $VI_H$ ) comme explicité précédemment (cf. 4.2.2.2).

L'expert doit cependant tenir compte du fait que les valeurs limites ont été établies en considérant une composition hypothétique pour le mercure total de 95 % de mercure inorganique et de 5 % de monométhylmercure  $HgCH_3$ , et en supposant l'additivité des doses relatives aux différentes formes de mercure (cf. **Annexe B8** ; B8-2.4)<sup>44</sup>.

En ce qui concerne les données des concentrations représentatives dans l'eau souterraine<sup>45</sup>, ces valeurs seront comparées aux valeurs  $VS_{\text{nappe}}$  du mercure total telles que figurant à l'Annexe 1 du « décret sols » (valeurs VS reprises dans la colonne « eau souterraine ») afin de prévenir les risques associés à l'usage de l'eau souterraine notamment à des fins de production alimentaire<sup>46</sup>.

#### 4.2.2.3 Etape 3 : Interprétation des résultats

Les résultats seront interprétés par référence à la méthodologie générale pour la réalisation des ESR, décrite dans la partie A du guide (section 5.2). Elle porte sur les trois objets suivants :

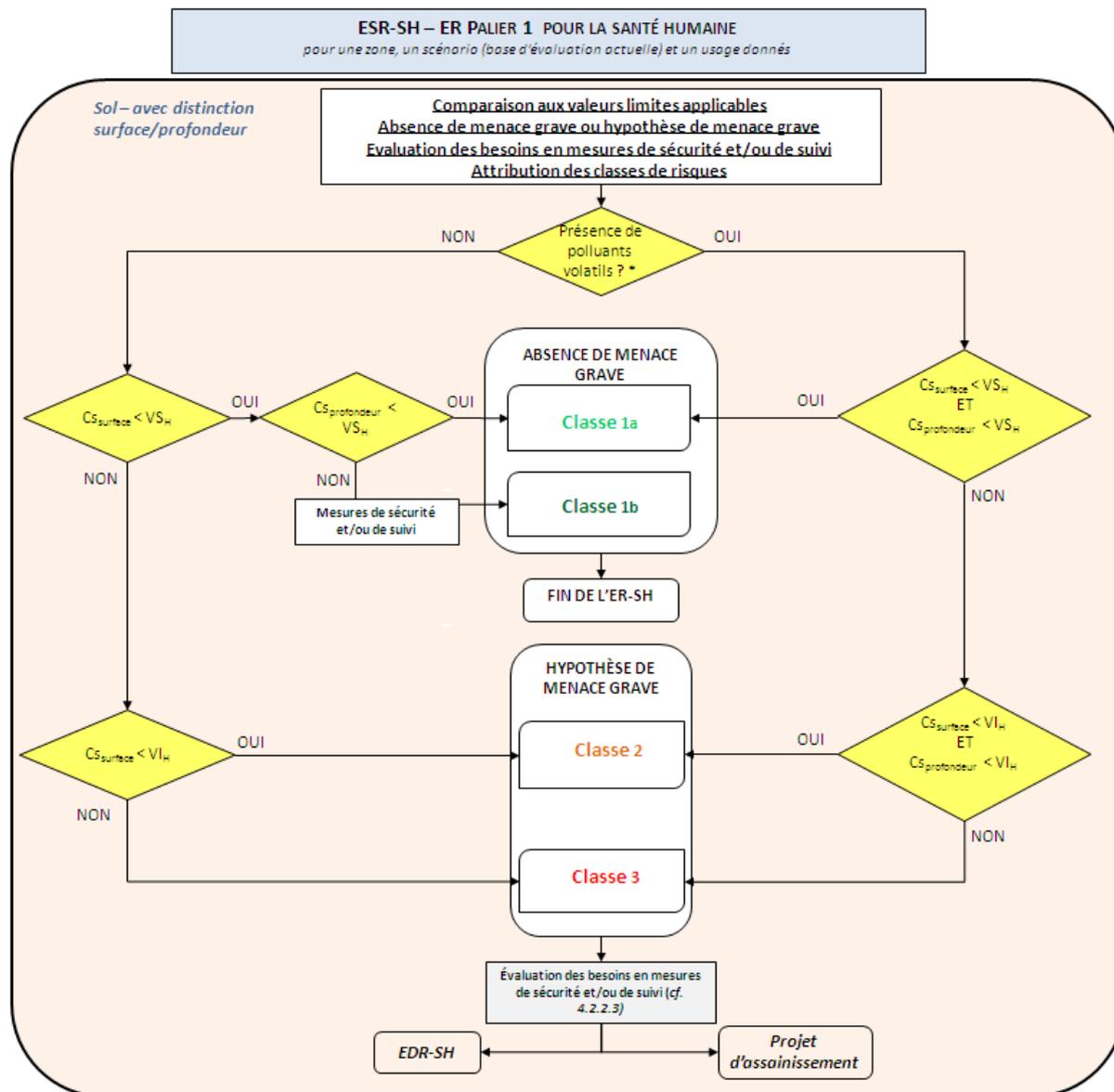
- 1) l'acceptabilité des risques sur base des résultats des tests de comparaison aux valeurs limites de premier niveau (cf. section 4.2.2.3.1) ;
- 2) l'évaluation des besoins en mesures de sécurité et/ou de suivi pour la protection de la santé humaine au terme de l'ESR (cf. section 4.2.2.3.2) ;
- 3) l'attribution d'une classe de risque (1, 2, ou 3) pour la santé humaine (cf. section 4.2.2.3.2).

<sup>44</sup> Dans le cas où les sols auraient été pollués spécifiquement par du mercure métallique ou du diméthylmercure (non considérés dans l'élaboration des valeurs limites), il est préconisé de reporter l'évaluation à l'étape de l'EDR-SH.

<sup>45</sup> A noter que pour des raisons pratiques la comparaison des concentrations représentatives dans l'eau souterraine peut aussi s'effectuer dans le cadre de l'application des méthodes ESR-N décrites dans la partie C du guide. Dans ce cas il importe de reporter les conclusions dans la présente analyse.

<sup>46</sup> Des références seront fournies ultérieurement à propos des critères de qualité de l'eau souterraine applicables pour prévenir les risques associés à d'autres types d'usage (domestique, irrigation, ou usage industriel) et fixer les mesures de sécurité en conséquence.

Les logigrammes ci-après illustrent la démarche (cf. Figure 5 et Figure 6) et guident l'expert dans l'élaboration des conclusions à l'issue de l'ESR-SH.



\* Le critère de volatilité est défini au paragraphe 5.6.1.1.1 de la partie A. Les propriétés physico-chimiques de référence des polluants sont par ailleurs disponibles à l'annexe B4.

Cs = Concentration représentative dans le sol (mg/kg)

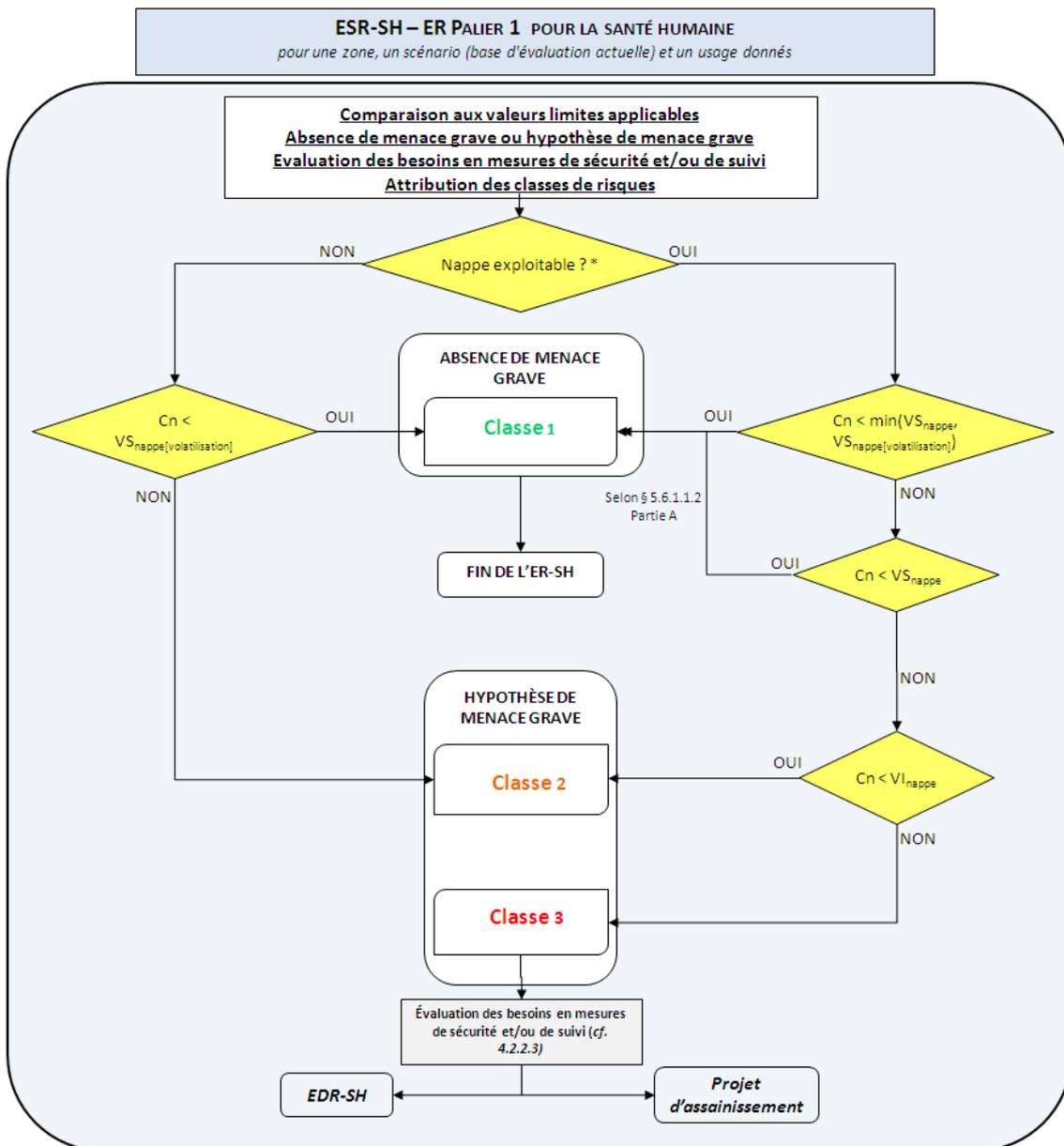
CS surface = concentration dans le sol représentative de la couche de surface (0-1 m-ns) (mg/kg)

CS profondeur = concentration dans le sol représentative de la couche de profondeur (> 1 m-ns) (mg/kg)

VSH = Valeur Seuil pour la santé humaine (mg/kg)

VIH = Valeur d'Intervention pour la santé humaine (mg/kg)

**Figure 5 – Logigramme pour l'interprétation générale des résultats relatifs au sol au stade de l'ESR-SH**



**Figure 6 – Logigramme pour l’interprétation générale des résultats relatifs aux eaux souterraines au stade de l’ESR-SH en fonction de son caractère exploitable ou non.**

#### 4.2.2.3.1 Acceptabilité des risques

L’acceptabilité des risques découle de la confrontation des concentrations représentatives aux valeurs limites de premier niveau (cf. 4.2.2.2 ; Figure 5 et Figure 6) et de l’intégration des résultats obtenus pour les concentrations dans le sol et dans l’eau souterraine, de la même manière que décrit à la section 5.4.2.2 de la partie A pour l’intégration des différents types de risque.

Ainsi :

- si les concentrations représentatives en surface (notées  $C_{S_{surface}}$ ) et en profondeur (notées  $C_{S_{profondeur}}$ ) en polluants dans le sol **et** dans l'eau souterraine<sup>47</sup> sont inférieures aux valeurs limites correspondantes, soit
  - pour le sol : les  $VS_H$  et
  - pour l'eau souterraine :
    - les  $VS_{nappe}$  et les  $VS_{nappe[volatilisation]}$  dans le cas d'une nappe exploitable (Cf. Partie C, section 2.3.1) (voir encadré ci-dessous) ou
    - les  $VS_{nappe[volatilisation]}$  dans le cas d'une nappe non exploitable (Cf. Partie C, section 2.3.1),

les risques pour la santé humaine sur la zone étudiée sont considérés comme acceptables (absence de « menace grave »). Avant de conclure l'évaluation des risques pour la santé humaine, l'expert examinera la nécessité d'imposer ou non des mesures de sécurité et/ou de suivi sur une base d'évaluation potentielle<sup>48</sup> ;

**Cas particulier où les valeurs de  $VS_{nappe[volatilisation]}$  sont inférieures à  $VS_{nappe}$**



Pour un nombre limité de polluants, les  $VS_{nappe[volatilisation]}$  peuvent être inférieures à  $VS_{nappe}$  (cas du mercure, des cyanures libres et de certaines fractions EC aliphatiques – voir annexe B1).

Pour l'étape de l'évaluation de l'acceptabilité des risques pour une nappe exploitable ou pour une nappe non exploitable, dans le cas où l'hypothèse de menace grave résulte uniquement du dépassement d'une (ou plusieurs)  $VS_{nappe[volatilisation]}$  inférieure(s) à la (aux)  $VS_{nappe}$  du « décret sols », il ne peut être conclu à ladite hypothèse de menace grave (sur base du § 5.6.1.1.2 de la partie A). L'expert est tenu de rapporter ces éléments dans le rapport de l'ESR.

- si la concentration représentative dans le sol **ou** dans l'eau souterraine dépasse une des valeurs limites correspondantes, la « menace grave » ne peut être écartée et doit être maintenue à titre d'hypothèse. Deux options se présentent alors :
  - soit réaliser un assainissement direct (sur base d'une hypothèse de « menace grave »),
  - soit poursuivre l'évaluation des risques pour la santé humaine par une EDR-SH.

#### 4.2.2.3.2 Evaluation des besoins en mesures de sécurité et/ou de suivi

De façon générale, des mesures de sécurité éventuellement couplées à des **mesures de suivi** s'imposeront :

- dans l'attente de la réalisation d'une EDR-SH ou d'un assainissement lorsqu'il a pu être conclu à l'hypothèse de « menace grave » (cf. section 4.2.2.3.1) et que les concentrations

<sup>47</sup> Cette comparaison a déjà pu être réalisée au stade de l'EC.

<sup>48</sup> L'expert se référera aux outils de la méthodologie générale et adaptera le degré d'approfondissement de l'évaluation des risques en fonction des spécificités du site.

représentatives dépassent les valeurs limites de deuxième niveau (cf. X) ; l'expert évaluera la nécessité de l'imposition de ces mesures tant dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle ;

- lorsqu'il a pu être conclu en une absence de « menace grave » pour les polluants non volatils<sup>49</sup> (cf. section 4.2.2.3.1) mais que les concentrations représentatives dans les couches de profondeur sont supérieures aux  $VS_H$  (cf. Figure 5 et Figure 6) ; la mesure de sécurité vise alors à prévenir le remaniement des terres ou la modification du relief du sol susceptible de ramener les couches de profondeur en surface.

L'ensemble des mesures de sécurité et/ou de suivi seront consignées dans le CCS.

#### 4.2.2.3.3 Attribution de la classe de risque pour la santé humaine

Le classement en fonction du niveau de risque est fondé sur la comparaison des concentrations représentatives aux valeurs limites de premier et de deuxième niveau. L'attribution de la classe de risque s'effectue séparément pour les concentrations dans le sol et pour les concentrations dans l'eau souterraine – conduisant donc à deux classes de risque pour la santé humaine, l'une concernant le sol et l'autre l'eau souterraine. Celles-ci seront agrégées comme rappelé à l'**étape 4**.

Les valeurs limites à considérer pour l'attribution de la classe de risque sont reprises dans le Tableau 6 pour les concentrations dans le sol et dans l'eau souterraine.

Si les concentrations représentatives sont inférieures aux valeurs limites de premier niveau applicables, c'est-à-dire :

- pour les sols, si les concentrations représentatives en surface ( $C_{S_{surface}}$ ) **et** en profondeur ( $C_{S_{profondeur}}$ ) sont inférieures aux  $VS_H$  ;
- pour les eaux souterraines,
  - si les concentrations sont inférieures à la valeur la plus contraignante de  $VS_{nappe}$  et  $VS_{nappe [volatilisation]}$  (cas des nappes exploitables ; cf. Partie C, section 2.3.1) ;
  - ou si les concentrations sont supérieures à  $VS_{nappe [volatilisation]}$  mais inférieures à  $VS_{nappe}$  (cas des nappes exploitables ; cf. Partie C, section 2.3.1) ;
  - ou si les concentrations sont inférieures à la  $VS_{nappe [volatilisation]}$  (cas des nappes non exploitables ; cf. Partie C, section 2.3.1) ;

alors l'**unité spatiale d'analyse** étudiée est de **classe 1** et le risque pour la santé humaine et pour le milieu considéré sur cette zone est déclaré acceptable.

Si les concentrations représentatives sont supérieures aux valeurs limites de premier niveau applicables, mais inférieures aux valeurs limites de deuxième niveau applicables, alors l'unité spatiale d'analyse étudiée est de **classe 2**. La « menace grave » pour la santé humaine et pour le milieu considéré y est conservée à titre d'hypothèse, et les risques sont qualifiés d'« intermédiaires ».

Si les concentrations représentatives sont supérieures aux valeurs limites de deuxième niveau, alors l'unité spatiale d'analyse étudiée est de **classe 3**. La « menace grave » pour la santé humaine et pour le milieu considéré y est conservée à titre d'hypothèse, et les risques sont qualifiés d'« élevés ».

---

<sup>49</sup> Par convention et dans le cadre du GRER uniquement : Polluants « volatils » = polluants ayant une pression de vapeur à 20 °C supérieure à  $10^{-1}$  Pa d'après les propriétés physico-chimiques de référence de l'**Annexe B4**. Les polluants de l'annexe 1 du « décret sols » considérés comme « volatils » sont mentionnés en gras italique souligné et sur fond bleu dans ladite annexe.

#### 4.2.2.4 Etape 4 : Globalisation des résultats et définition des objectifs minimum d'assainissement

Les résultats de l'interprétation effectuée en matière d'acceptabilité du risque, d'évaluation des besoins en mesures de sécurité et/ou de suivi et d'attribution d'une classe de risque sont globalisés entre les différentes unités spatiales d'analyse de façon à déduire les conclusions d'ensemble qui s'imposent aux différentes échelles d'analyse pertinentes définies d'après le contexte et les objectifs spécifiques de l'étude (**parcelle** cadastrale, terrain site).

S'agissant plus spécifiquement de la classe de risque à retenir pour la santé humaine au terme de l'ESR-SH, elle sera fixée en analogie avec l'intégration des résultats de l'ESR présentée dans la partie A du guide (section 5.4.2.2) - à la valeur maximale de la série de classes ordonnées comme suit :

Classe 1a < Classe 1b < Classe 2 < Classe 3.

Dans les cas où les conclusions en matière d'acceptabilité des risques pour la santé humaine amènent l'expert à recommander de procéder directement aux travaux d'assainissement, l'**étape 4** de l'ESR comprendra également les travaux d'analyse nécessaires pour la formulation des objectifs minimum d'assainissement.

Dans la mesure où il peut être conclu à l'adéquation entre le MCS et le scénario standard (cf. **Etape 1** ; section 4.2.2.1) retenu pour le calcul des valeurs seuil pour la santé humaine, les objectifs minimum d'assainissement permettant de couvrir les risques pour la santé humaine<sup>50</sup> peuvent être fixés pour chaque polluant identifié individuellement :

- pour le sol d'après les valeurs limites de premier niveau ( $VS_H$ ), et correspondant à l'usage retenu. Ainsi,
  - o pour les couches de surface, les objectifs minimum d'assainissement permettant de couvrir les risques pour la santé humaine peuvent être fixés aux valeurs limites de premier niveau établies pour ces couches ( $VS_H$ ) ;
  - o au-delà d'une profondeur - fixée conventionnellement à 1 m - des concentrations supérieures à  $VS_H$  pourront être admises pour les polluants non volatils à condition d'imposer une mesure de sécurité visant à ne pas autoriser le remaniement ultérieur de ces terres polluées laissées en place. Dans l'hypothèse où aucune mesure de sécurité ne serait souhaitée sur le site, il y a lieu d'assurer le respect de la valeur de  $VS_H$  à toute profondeur ;
- pour les eaux souterraines, soit :
  - o à la valeur la plus contraignante de ( $VS_{nappe}$ ,  $VS_{nappe[volatilisation]}$ ) dans le cas des nappes exploitables (cf. Partie C, section 2.3.1) ;
  - o à la valeur la plus contraignante de ( $VI_{nappe}$ ,  $VS_{nappe[volatilisation]}$ ) dans le cas des nappes non exploitables (cf. Partie C, section 2.3.1).

Dans le cas particulier des hydrocarbures pétroliers, les objectifs minimum d'assainissement permettant de couvrir les risques pour la santé humaine seront fixés :

- en l'absence d'un split aromatique/aliphatique, aux valeurs limites de premier niveau précisées pour les fractions globales  $EC_i$  ;

---

<sup>50</sup> Les objectifs minimum d'assainissement pour couvrir les risques santé humaine sont à combiner aux objectifs minimum d'assainissement établis pour la protection des eaux souterraines et, si pertinent, pour la protection des écosystèmes (cf. Partie A, § 5.4.1.4).

- en présence d'un split aromatique/aliphatique, aux valeurs limites de premier niveau précisées pour les fractions aromatiques et aliphatiques.

	<p><i>Les valeurs limites des fractions aromatiques et aliphatiques - reprises à l'Annexe B1 et calculées en ne considérant que les effets non cancérogènes des polluants les constituant – <u>ne peuvent pas</u> être retenues comme objectifs minimum d'assainissement (OA) couvrant les risques pour la santé humaine pour les polluants identifiés individuellement (BTEX, HAP).</i></p> <p><i><u>Exemple</u> : Cas d'une pollution par du benzène et des hydrocarbures pétroliers en zone résidentielle</i></p> <p><i>A l'examen des résultats analytiques issus d'un split aromatique/aliphatique, les hydrocarbures pétroliers s'avèrent contenir des composés aromatiques légers (EC<sub>6-7 arom</sub>). Bien que basées sur les effets du benzène, les valeurs limites de cette fraction EC<sub>6-7 arom</sub> (VS<sub>H</sub> = 0,31 mg/kg, VS<sub>nappe</sub> = 100 µg/L et VS<sub>nappe [volatilisation]</sub> = 845 µg/L) ne pourront en aucun cas être retenues comme OA pour le benzène. Ceux-ci seront fixés d'après les valeurs limites précisées pour ce polluant identifié individuellement, soit</i></p> <p style="text-align: center;"><i>VS<sub>H</sub> = 0,14 mg/kg,</i></p> <p style="text-align: center;"><i>VS<sub>nappe</sub> = 10 µg/L et</i></p> <p style="text-align: center;"><i>VS<sub>nappe [volatilisation]</sub> = 240 µg/L</i></p>
---	---

Il est rappelé que dans la mesure où le MCS diffère significativement du scénario standard retenu pour le calcul des valeurs seuil pour la santé humaine (cf. 4.2.2.1), ces valeurs ne peuvent être retenues comme **objectifs d'assainissement**. Il appartient alors à l'expert de retenir comme objectifs minimum d'assainissement pour la santé humaine, alternativement :

- les « normes » VS du « décret sols » ;
- des valeurs déterminées spécifiquement pour le site dans le cadre de l'EDR-SH (cf. 4.3.2.6).

## 4.3 Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine (EDR-SH)

### 4.3.1 Principes et étapes générales de l'EDR-SH

Pour rappel, l'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine (EDR-SH) constitue le second palier de l'évaluation des risques ; elle permet :

- pour une base d'évaluation se référant à un scénario actuel (cf. 3.5, partie A du GRER) : de se prononcer sur l'éventuelle présence d'une « menace grave » pour la santé humaine et d'en déduire, dans l'affirmative, les conséquences, conformément au « décret sols », à savoir :
  - le niveau de risque attendu pour la santé humaine ;
  - la nécessité d'assainir, et, le cas échéant, l'urgence de l'assainissement ainsi que les objectifs minimum d'assainissement permettant de supprimer la « menace grave » ;
  - les mesures de sécurité et/ou de suivi nécessaires.
- pour une base d'évaluation se référant à un scénario potentiel : de se prononcer sur la présence d'un risque potentiel (c'est-à-dire lié à la condition de survenance du scénario potentiel considéré) pour la santé humaine et d'en déduire, dans l'affirmative, les conséquences, conformément au « décret sols », à savoir :
  - l'imposition de mesures de sécurité et/ou de suivi et la définition de la nature et des caractéristiques des mesures.
- pour une base d'évaluation se référant à un scénario-projet : de se prononcer sur les nécessités d'assainir (et le cas échéant les objectifs minimum d'assainissement) qui seraient associés au projet.

Il est à noter que les mêmes principes méthodologiques sont appliqués que les risques soient évalués sur une base actuelle ou potentielle.

A la différence de l'évaluation simplifiée des risques, l'évaluation détaillée des risques :

- tient compte des conditions spécifiques du site ;
- a recours à des outils plus complexes tels des modèles (analytiques, numériques) et/ou des mesures dans d'autres milieux que le sol et les eaux souterraines ;
- fournit les niveaux de risques attendus pour la santé humaine par le biais du calcul des indices de risques (IR) pour les polluants associés à des effets « à seuil » et pour les polluants associés à des effets « sans seuil ».

L'approche retenue, illustrée ci-dessous (Figure 7), comporte 6 étapes, chacune étant détaillée dans les paragraphes suivants :

- **Etape 1** : détail du Modèle conceptuel du site (MCS) pour l'EDR-SH et sélection des données et paramètres nécessaires au calcul des doses d'exposition ;
- **Etape 2** : identification des dangers et définition des relations dose/réponse ;
- **Etape 3** : évaluation des expositions ;
- **Etape 4** : caractérisation des risques ;
- **Etape 5** : interprétation des résultats, conclusions et recommandations ;
- **Etape 6** : globalisation des résultats et définition des objectifs minimum d'assainissement pour la santé humaine au stade de l'EDR.

La démarche d'évaluation des risques est souvent itérative, par approches successives, et veille ainsi à la cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance des incidences prévisibles de la pollution. Ceci peut donc conduire, au vu des premiers résultats, à modifier certains

paramètres d'entrée pour retenir des valeurs plus spécifiques au cas étudié afin de calculer à nouveau les doses d'exposition. Ce caractère itératif répond au principe de proportionnalité.

L'outil retenu et recommandé pour le calcul des doses d'exposition dans le cadre de l'EDR-SH (**étape 3**) est RISC Human<sup>®</sup> v3.3 (cf. 3.1). Une présentation générale des équations du module CSOIL issu du modèle d'exposition RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 et des ajustements effectués pour leur application dans l'optique de calculer les  $VS_H$  adaptées au contexte wallon est fournie à l'**Annexe B2**.

	<p><b><i>Différences entre les résultats obtenus via l'utilisation exclusive du logiciel RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 et les valeurs limites</i></b></p> <p><i>Bien que les équations du module CSOIL du modèle RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 aient servi de base au développement de la procédure de calcul des <math>VS_H</math> et <math>VI_H</math>, les résultats obtenus via l'utilisation exclusive du logiciel RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 ne seront pas en parfaite adéquation avec ces valeurs limites. Les écarts résultent principalement des modifications de méthodologie mises en œuvre suite aux remarques émises par l'INERIS (2009), dans le cadre de son travail de validation de l'outil d'évaluation des risques sanitaires utilisé par SPAQuE pour l'élaboration des <math>VS_H</math><sup>51</sup>, et du recours à deux valeurs toxicologiques (une pour l'inhalation et une pour l'ingestion (et le contact cutané)).</i></p>
---	---

Au stade actuel du développement de l'EDR-SH, deux outils supplémentaires - de type Excel - sont mis à disposition des bureaux d'études.

Le premier (*Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm*) permet, pour un polluant et un usage donné, de calculer les indices de risque en reportant les doses d'exposition calculées par RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 pour chacune des voies d'exposition pertinentes identifiées dans le MCS et pour chacune des cibles pertinentes (enfant, adulte).

Le second (*Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm*), plus complet, se base sur le premier et propose une approche multi-polluants. Il permet le calcul simultané des indices de risque relatifs à un ensemble de polluants concernant éventuellement plusieurs zones récepteur, à partir des doses d'exposition correspondantes calculées par RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 et préalablement introduites pour chacune des voies d'exposition pertinentes et pour chacune des cibles pertinentes (enfant, adulte). Cet outil génère également un rapport synthétisant, pour chacune des zones récepteur, les indices de risque obtenus pour les polluants présents dans le sol et dans l'eau souterraine ainsi que leur interprétation conformément à la section 4.3.2.5.

<sup>51</sup> Cette validation a été réalisée suite à la Notification du Gouvernement Wallon (NGW) du 09/02/2006 chargeant la Société SPAQuE de « poursuivre, achever et faire valider un outil d'évaluation des risques sanitaires ».

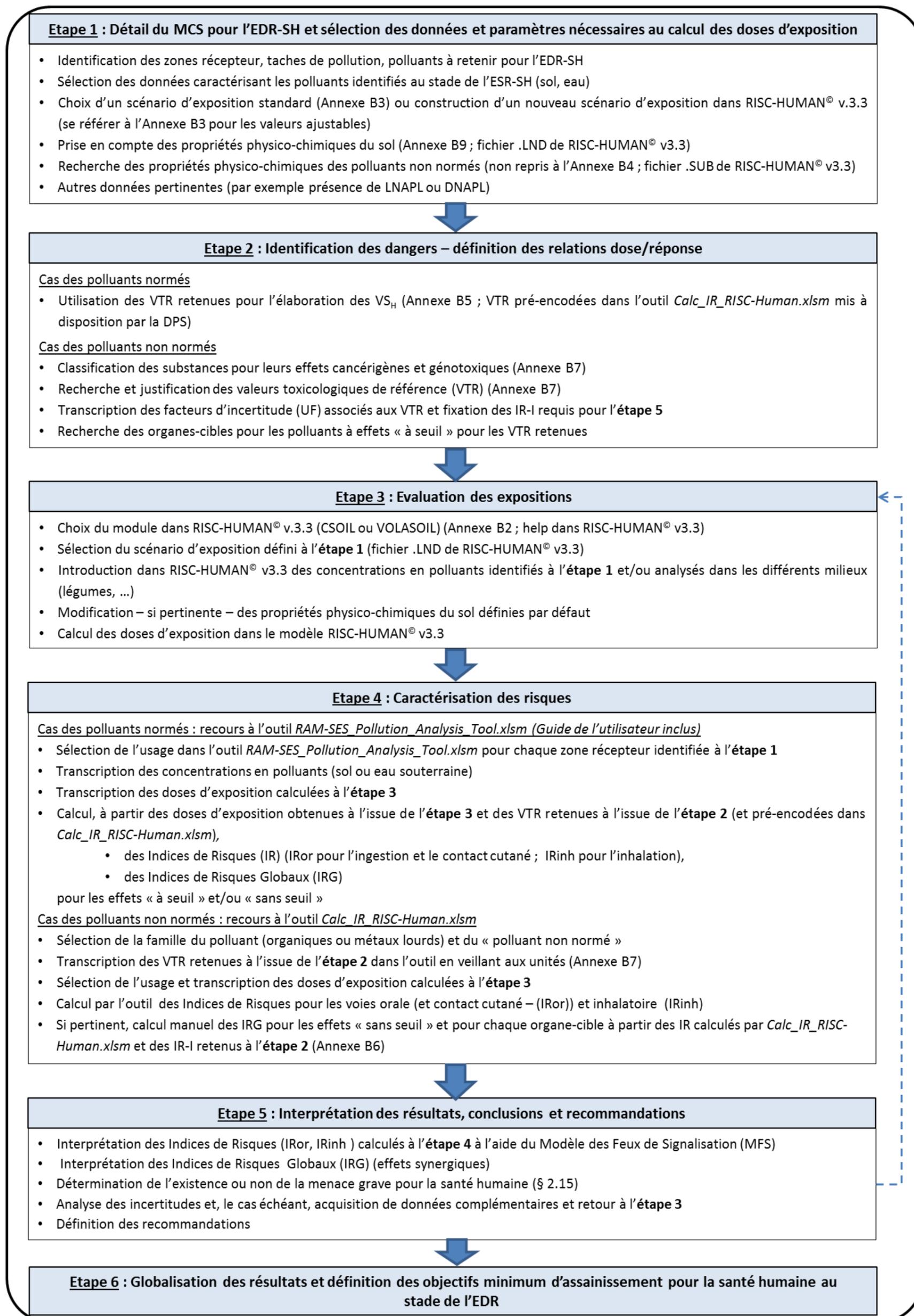


Figure 7 – Déroulement d'une évaluation détaillée des risques pour la santé humaine (EDR-SH), pour une base d'évaluation (actuelle ou potentielle) donnée.

## 4.3.2 Méthode et outils

### 4.3.2.1 Etape 1 : détail du modèle conceptuel du site (MCS) pour l'EDR-SH et sélection des données et paramètres nécessaires au calcul des doses d'exposition

L'étape 1 a pour objectif :

- d'une part, de compléter et de sélectionner les données qui correspondent le mieux aux conditions du site et qui seront retenues pour la suite de la procédure d'évaluation des expositions en ne considérant que les aspects pertinents observés lors de l'ESR-SH (cf. 4.3.2.1.1 et 4.3.2.1.2) ;
- et d'autre part, de définir le(s) scénario(s) d'exposition à retenir pour l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle (cf. 3.5 de la Partie A) au départ du MCS réalisé au stade de l'ESR-SH (cf.4.2.2.1). Dans le cas des sites désaffectés et, d'une façon générale, des sites prévus pour être réaménagés qui sont étudiés dans le cadre de projets (de réaffectation, de réaménagement) des scénarios spécifiques correspondant au projet (ou aux projets envisageables que l'on souhaiterait tester pour en évaluer la faisabilité) pourront encore être définis.

L'expert veillera plus particulièrement :

- à sélectionner les données caractérisant les polluants (cf. 4.3.2.1.1) ;
- à sélectionner les données relatives à l'usage (ou aux usages) du site caractérisant les cibles et voies d'exposition (cf. 4.3.2.1.2) ;
- à définir le/les scénario(s) d'exposition à retenir pour l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle (4.3.2.1.3).

Toutes les valeurs retenues pour les paramètres seront dûment justifiées par l'expert.

#### 4.3.2.1.1 Sélection des données caractérisant les polluants

Deux cas se présentent :

1. Une ESR-SH a été réalisée : seules les zones récepteur, taches de pollution, polluants identifiés par l'expert comme devant faire l'objet d'une EDR-SH sont à prendre en compte (polluants non normés et polluants normés dont les concentrations représentatives dans le sol dépassent les  $VS_H$ ).

Concernant les eaux souterraines, doivent être retenus et également étudiés pour les effets de mélange (de par son utilisation à des fins de consommation ou par inhalation) dans le cadre de l'EDR-SH :

- les polluants non normés identifiés par l'expert au stade de l'ESR-SH ;
- les polluants normés dont les concentrations dépassent la  $VS_{nappe}$  (cas des nappes exploitables) (concept clé défini dans la Partie C, section 2.3.1) ;
- les polluants normés dont les concentrations dépassent la  $VS_{nappe}$  [voltaïsation] (cas des nappes exploitables ou non exploitables).

Il reviendra à l'expert d'être particulièrement prudent pour le calcul des doses à la prise en compte de l'additivité des risques (et de certains organes-cibles) pour une zone récepteur (désignant – pour rappel – la surface d'un site où se situent les cibles dans l'étude d'une chaîne « S-T-C » donnée.) et de bien argumenter sa décision.

2. Aucune ESR-SH n'a été réalisée : par défaut, la sélection des polluants est réalisée en suivant la procédure décrite pour l'ESR-SH (cf. 4.2.2.1). Tous les polluants normés dépassant les Valeurs Seuil du « décret sols » ( $VS$  pour les concentrations dans le sol,  $VS_{nappe}$  pour les concentrations dans l'eau souterraine dans le cas d'une nappe exploitable ou les  $VS_{nappe[volatilisation]}$  précisées à l'Annexe B1) ainsi que tous les polluants non normés (identifiés, analysés et quantifiés) sont à considérer.

Une fois les polluants identifiés, les concentrations représentatives en polluants dans le sol et les eaux souterraines ainsi que les éventuelles mesures dans les gaz du sol ou dans d'autres milieux sont sélectionnées ; celles-ci seront introduites dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 à l'étape 3.

Conformément aux recommandations de l'INERIS, l'ensemble des résultats analytiques issus des différents milieux (sol, eau, air) sera exploité dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé humaine.

Quelques recommandations quant au choix des données à retenir pour cette étape sont précisées dans les paragraphes suivants.

#### **a) Concentrations à prendre en compte dans le sol et les eaux souterraines**

S'agissant des concentrations à prendre en compte dans le sol, l'expert devra juger de la profondeur pertinente à retenir pour la zone non saturée tenant compte des fluctuations éventuelles du niveau de la nappe. Les analyses de sol réalisées dans la zone de battement de la nappe sont généralement reprises dans la zone non saturée, de manière précautionneuse, particulièrement en ce qui concerne les risques d'inhalation de polluants volatils.

S'agissant des concentrations à prendre en compte pour les eaux souterraines, les concentrations retenues sont celles mesurées dans la ou les nappes en fonction des voies d'exposition et des cibles:

- si la seule voie d'exposition pertinente est celle de l'inhalation de polluants volatils issus de la nappe, seules les concentrations dans la première nappe (i.e. la moins profonde) seront utilisées ;
- si un captage a été répertorié sur site exploitant une nappe profonde, les concentrations dans cette nappe profonde pourront aussi s'avérer pertinentes dans le cadre de l'évaluation des risques via ingestion d'eau.

Dans la mesure où des polluants volatils sont présents dans le sol et les eaux souterraines, les concentrations dans l'eau aussi bien que celles dans les sols non saturés sont retenues pour l'évaluation de la dose d'exposition via inhalation. Ainsi l'expert calculera les doses d'exposition via inhalation (à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment) des vapeurs issues du sol et de l'eau souterraine séparément et retiendra la dose la plus élevée dans tous les cas<sup>52</sup>.

---

<sup>52</sup> En dehors de la zone de sol pollué, des mesures de gaz du sol peuvent également servir à évaluer la volatilisation issue d'un panache d'eau polluée qui a migré en aval (cf. GREC)

### **b) Concentrations à prendre en compte dans les gaz du sol**

Dans le cadre d'une EDR-SH, des mesures de concentration dans les gaz du sol peuvent avoir été collectées pour mieux préciser l'importance de cette voie d'exposition. La collecte de ces données suit, jusqu'à intégration dans le CWEA, les recommandations figurant en annexe B10.

L'utilisation des concentrations mesurées dans le gaz du sol dépend de la fiabilité respective des mesures dans le sol et les gaz du sol et, à fiabilité égale, de la précision des deux types de mesure. Les mesures de concentrations dans les gaz du sol sont typiquement plus variables que celles des concentrations dans le sol, car elles sont influencées par la teneur en eau du sol, la température et la pression barométrique. La réalisation de plusieurs campagnes est à recommander.

Il est recommandé que l'expert réalise les calculs de doses d'exposition avec les trois données : sol, gaz du sol et eaux souterraines en retenant, dans un premier temps, les doses maximales calculées pour les différentes voies d'exposition. Il pourra ensuite argumenter la prise en compte de telle ou telle concentration.

### **c) Concentrations dans d'autres milieux que le sol, les eaux souterraines et les gaz du sol**

Dans le cadre d'investigations approfondies, des analyses dans les milieux autres que le sol et les eaux souterraines sont parfois menées : air ambiant, eau du robinet, légumes...

La sélection de ces données en vue de calculer des doses d'exposition (**étape 3**) nécessite certaines précautions. Il importe d'abord de vérifier si les concentrations mesurées dans ces milieux sont pertinentes et représentatives en comparant les résultats des analyses disponibles dans les différents milieux pour s'assurer de leur cohérence : sol, air et milieu(x) investigué(s), cette réflexion devant être menée par l'expert.

En raison des incertitudes liées aux mesures et/ou à la variabilité des résultats, la réalisation de plusieurs campagnes de prélèvements et d'analyses est recommandée (par exemple, l'influence des conditions atmosphériques sur les analyses d'air ambiant implique de réaliser des campagnes en été et en hiver). Une partie de ces campagnes peut éventuellement être organisée dans le cadre des mesures de suivi.

Le cas échéant (pertinence et représentativité vérifiées), les concentrations mesurées dans ces autres milieux peuvent être utilisées comme données d'entrée et introduites dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3, à la place de la valeur calculée par ce modèle à partir des concentrations mesurées dans le sol, les eaux souterraines et/ou les gaz du sol. Ainsi il est possible, par exemple, de calculer une dose d'inhalation à partir d'une concentration analysée dans l'air ambiant à la place d'une concentration dans l'air ambiant qui aurait été calculée à partir des concentrations mesurées dans les sols et les eaux souterraines. L'annexe B10 présente la méthode de prélèvement et d'analyse de l'air ambiant à suivre. A terme, cette annexe sera intégrée dans le CWEA.

### **d) Cas particulier des phases libres (phases non aqueuses liquides polluant flottants ou plongeants)**

Lorsqu'une phase libre présente dans les sols non saturés se retrouve au niveau de l'**aquifère** (sous la forme d'une phase liquide non aqueuse flottante ou LNAPL ou d'une phase liquide

non aqueuse plongeante ou DNAPL), les concentrations dans l'eau porale ou l'eau souterraine sont saturées (dépassement de la solubilité ou de la concentration saturante dans le sol). Par conséquent, seule la proportion de chaque composé dans la phase libre a un impact sur le calcul de la dose d'exposition (**étape 3**) par inhalation. Les composés constituant le flottant/plongeant forment un mélange, supposé parfait, pour lequel la loi de Raoult est d'application. Ainsi, à partir des fractions molaires dans le mélange, des pressions de vapeur partielles sont calculées ainsi que les concentrations dans les gaz du sol. A titre informatif, l'utilisation de la loi de Raoult est expliquée de manière détaillée dans le rapport CIDISIR (Burgeap *et al*, 2005) et le rapport sur les écoulements multiphasiques en milieu poreux (Lefebvre, 2006).

Il est à noter que la loi de Raoult n'est actuellement pas implémentée dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3. Dans la mesure où l'expert disposerait de résultats analytiques pertinents portant sur la composition de mélange, il a la latitude de procéder à ces calculs moyennant justification et explication des calculs. Ces concentrations doivent être introduites manuellement dans RISC Human<sup>®</sup> v3.3 dans l'onglet « *Edit measurements > Contact Media* ».

Les données à retenir pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol sont, en ordre de préférence (et en l'absence de mesures des gaz du sol) :

- les concentrations (ou proportions) des composés analysés dans le produit pur ;
- les concentrations maximales mesurées dans les sols qui sont représentatives du produit dans le cas d'une phase liquide non aqueuse flottante.

Dans le cas d'une phase liquide non aqueuse plongeante, les concentrations maximales mesurées dans les eaux souterraines, de préférence dans la partie supérieure de la nappe, sont retenues pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol (en considérant la profondeur de la pollution au toit de la nappe).

#### **e) Considération des produits de dégradation**

L'expert devra juger au cas par cas si la dégradation des polluants présents, tenant compte des conditions du site, pourrait conduire à la formation de produits toxiques dont il faudrait tenir compte dans l'évaluation des risques.

Ainsi la présence de composés organiques chlorés tels le tétrachloroéthylène et le trichloroéthylène dans les eaux souterraines peuvent conduire à une production de chlorure de vinyle, plus toxique, si les conditions ne sont pas favorables à une minéralisation complète. Dans ce cas, l'expert devra tenir compte des risques éventuels pour la santé humaine dans une situation future en estimant les concentrations attendues.

Des outils existent pour mener cette évaluation de la biodégradation non prise en compte dans le logiciel RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 : le guide EPA (US-EPA, 1998), le rapport USGS (Lawrence, 2006), les équations de cinétique de premier ordre ou l'utilisation du logiciel BIOCHLOR (US-EPA, 2000) pour estimer les concentrations futures.

#### **f) Paramètres physico-chimiques des polluants et des sols et facteurs de transfert**

Les paramètres spécifiques à un polluant nécessaires à la modélisation sont les paramètres physico-chimiques et les facteurs de transfert d'un milieu vers un autre. Les paramètres physico-chimiques permettent de modéliser le comportement du polluant dans les sols, les

eaux, les plantes. Il s'agit notamment de la solubilité, de la volatilité, du caractère lipophile du polluant, etc. Les facteurs de transfert permettent de modéliser le transfert des polluants d'un milieu vers un autre (par exemple le transfert sol/plante).

Dans le cas de polluants normés, l'expert se réfèrera aux paramètres physico-chimiques utilisés pour l'élaboration des  $VS_H$  synthétisés à l'**Annexe B4** et repris dans le fichier .SUB. mis à disposition des experts.

Dans le cas de polluants non normés, par défaut, l'expert peut se référer aux paramètres physico-chimiques repris dans le fichier .SUB. de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3. Concernant les polluants non inclus dans le fichier .SUB, ces paramètres devront être recherchés en consultant des bases de données et en respectant les règles suivantes :

- préférer les valeurs mesurées expérimentalement à des valeurs estimées ou calculées ;
- préférer les valeurs mesurées dans des conditions expérimentales adaptées au cas étudié ;
- si à l'issue de cette sélection, plusieurs valeurs sont encore disponibles, choisir la valeur la plus conservatoire au regard du transfert considéré ou calculer une moyenne (arithmétique ou géométrique, selon le type de paramètre considéré).

**Quelles bases de données et/ou quels documents de référence peuvent être consultés pour la recherche des paramètres physico-chimiques de polluants non normés (liste non exhaustive) ?**



- les bases de données d'API, de l'ATSDR Environmental Systems and Technologies, des Communautés européennes (ECDIN), d'HSDB, de IPCS, du Joint Research Center - Commission of European Community (IUCLID), du TPHCWG (1999) (format papier), de l'Environmental Systems and Technologies (Etats-Unis) (STF), de l'INERIS (2008)<sup>53</sup>, etc., dont les références sont données à la section 4 du rapport de l'INERIS (2009), ou les accès des sites Internet ;
- les « Handbook » (Verschueren, 1996) ;
- les monographies ou rapports de synthèse de l'OMS, de l'US EPA, Otte et al. (2001), etc. ;
- les fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques de l'INERIS (site Internet INERIS) ;
- etc.

### g) Caractéristiques du sol et de la nappe

Les caractéristiques du sol ont également un impact sur les facteurs de transfert et les coefficients de partition. Parmi les propriétés du sol les plus importantes à considérer dans le cadre de l'EDR-SH, citons le taux de matière organique, le pH, la teneur en eau et la densité apparente. D'autres propriétés peuvent être nécessaires pour l'ajustement des coefficients de partition sur base des régressions (citons le taux d'argile, la pierrosité, la conductivité électrique, la capacité d'échange cationique, le contenu en Fe, la teneur en eau, etc.)<sup>54</sup>.

<sup>53</sup> Synthèse bibliographique de paramètres définissant la sorption (Kd) et la dégradation (T1/2), pour les 16 HAP retenus comme prioritaires par l'Agence environnementale américaine (US-EPA) et pour certains COHV.

<sup>54</sup> Voir Partie C-GRER.

Les valeurs par défaut retenues pour les sols standards dans le cadre de l'élaboration des « normes » du « décret sols » sont reprises à l'**Annexe B9**. Des mesures de terrain peuvent être utilisées si elles sont représentatives de la couche lithologique ou de la nappe modélisée et ont été collectées en respectant la méthodologie analytique en vigueur en Région wallonne. On notera en particulier que le taux de matière organique mesuré peut varier significativement en fonction de la méthode analytique utilisée. L'expert justifiera la représentativité des valeurs retenues.

S'agissant de la nappe, l'expert veillera à préciser la profondeur à laquelle se situe le toit de la nappe, paramètre indispensable pour le calcul des risques associés à la volatilisation des polluants depuis celle-ci.

#### 4.3.2.1.2 Sélection des données relatives à l'usage du site caractérisant les cibles et les voies d'exposition

##### a) Sélection du type d'usage retenu et la définition des zones récepteurs

L'expert définit la/les unités spatiales d'analyse (**zone(s)** récepteur) et sélectionne pour chacune d'entre elles, le(s) type(s) d'usage(s) à retenir pour l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle (cf. Partie A GRER- 3.5).

##### b) Identification des voies d'exposition pertinentes

En vue de l'EDR-SH, l'expert identifiera les voies d'exposition pertinentes pour chaque type d'usage retenu et pour chacune des bases d'évaluation (base actuelle et potentielle).

##### c) Identification des cibles pertinentes

Les cibles pertinentes seront choisies en fonction de l'usage du site retenu pour l'évaluation des risques (base d'évaluation actuelle et potentielle, cf. Partie A du GRER, section 3.5). Les paramètres relatifs aux cibles (enfant, adulte) sont repris à l'**Annexe B3** et dans le fichier .LND de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3. L'expert évaluera également la pertinence et/ou la nécessité de prendre en compte des cibles plus sensibles (voir encadré).

Toute modification apportée à ces paramètres sera dûment justifiée par l'expert.

	<p><b>Prise en compte de cibles plus sensibles</b></p> <p><i>L'évaluation des risques doit non seulement viser à protéger la population générale (adultes et enfants), mais également les personnes qui peuvent être plus particulièrement sensibles aux effets d'un polluant.</i></p> <p><i>En théorie, les méthodes d'élaboration des VTR par les organismes internationalement reconnus couvrent les risques pour la population sensible, incluant les enfants en bas âge. Cependant, certains cas particuliers pourraient amener l'expert à considérer ces cibles plus sensibles aux effets d'un polluant, en raison (cette définition est extraite du site <a href="http://www.x-environnement.org">www.x-environnement.org</a>) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>d'un mode de consommation particulier (minorités ethniques, consommateurs de poissons, dans le cas de pollutions par le Hg ou les PCB par exemple...);</i></li> </ul>
---	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– de leur âge : les enfants ont une activité physique proportionnellement plus élevée que celle des adultes et donc, à poids égal, respirent plus de polluants ; ils ingèrent plus de fruits et de légumes et donc de polluants que ces derniers (7 fois plus à poids égal)<sup>55</sup> ;</li> <li>– de leur état de santé : asthmatiques, personnes âgées ou tout groupe de population présentant une particularité physiologique du type déficience enzymatique.</li> </ul>
--	---

#### d) Sélection des paramètres de la configuration du terrain pour l'EDR-SH

La configuration du terrain peut être prise en compte dans l'EDR-SH, notamment dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base actuelle (détermination de la « menace grave ») ou dans le cadre de l'évaluation d'un projet. Ainsi les données constructives (dimensions des bâtiments, présence d'une cave ou d'un vide ventilé, bâtiment construit sur une dalle en béton, taux de renouvellement d'air, épaisseur de la dalle en béton ...) pourront être utilisées comme données d'entrée dans la modélisation lors de l'**étape 3** (cf. 4.3.2.3) moyennant justification par l'expert. L'**Annexe B3** précise les modalités à suivre pour l'ajustement des paramètres.

Dans le cas où il existe un projet d'aménagement, plus les spécificités de ce projet d'aménagement seront prises en compte pour l'évaluation des risques, plus cette dernière conduira à des contraintes d'aménagement qui seront répercutées dans le CCS. Par exemple, prendre en compte la localisation exacte des bâtiments et des espaces verts conduit éventuellement à conclure une acceptabilité des risques qui n'est valable que pour la localisation convenue des bâtiments et des espaces verts et ne garantit pas nécessairement la compatibilité du site pour une disposition différente des bâtiments et des espaces verts : ces modifications de disposition (= scénario potentiel) doivent être considérées comme rentrant dans le domaine du « normalement prévisible » pour le futur (par exemple dans le cadre d'une nouvelle demande de permis d'urbanisme, pour un nouveau projet) et couvertes par des mesures de sécurité appropriées.

Dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base potentielle, l'expert retiendra toujours les valeurs par défaut attribuées aux paramètres reflétant la configuration du terrain. Ces paramètres comprennent :

- le type de bâtiment (sur vide ventilé) ;
- les dimensions du bâtiment (y compris la hauteur du vide ventilé) ;
- le taux de renouvellement d'air dans le vide ventilé ;
- l'épaisseur de la dalle en béton ;
- les surfaces extérieures au(x) bâtiment(s) (non couverte(s)).

#### 4.3.2.1.3 Définition du/des scénario(s) d'exposition à retenir pour l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle

Sur base des informations sélectionnées, l'expert doit définir le(s) scénario(s) d'exposition à retenir pour l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle.

<sup>55</sup> Ceci a notamment conduit l'EPA à retenir un facteur de sécurité supplémentaire de 10 pour l'enfant.

Dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base actuelle (ou une base projet), le(s) scénario(s) correspond(ant) au(x) mode(s) d'utilisation actuel(s) et à la configuration actuelle du terrain. L'expert peut notamment conclure :

- soit à l'applicabilité d'un scénario d'exposition standard ou d'une de leurs variantes<sup>56</sup> (cf. **Annexe B3**) ; ce sera le cas si :
  - les caractéristiques constructives du/des bâtiment(s) sont similaires à celles considérées dans le scénario d'exposition standard (soit un bâtiment avec un vide ventilé) ;
  - les temps d'exposition à prendre en compte sont similaires à ceux retenus dans les scénarios d'exposition standards ;
  - les voies d'exposition considérées par défaut dans les scénarios standards sont toutes pertinentes et aucune autre voie d'exposition particulière ne doit être prise en compte ;

S'il peut être conclu à l'applicabilité d'un scénario standard, l'expert pourra dès lors utiliser ces scénarios d'exposition prédéfinis dans le fichier .LND de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3. et ajuster les paramètres considérés comme « toujours modifiables » conformément aux règles définies à l'**Annexe B3** et moyennant justification ;

- soit à l'inapplicabilité d'un scénario d'exposition standard ; l'expert pourra alternativement :
  - définir dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 un nouveau scénario d'exposition au départ d'un scénario d'exposition standard moyennant justification pour les modifications apportées ; l'expert peut notamment :
    - désélectionner les voies d'exposition qui ne seraient pas pertinentes ;
    - ajuster les paramètres considérés comme « toujours modifiables » et « modifiables » conformément aux règles définies à l'**Annexe B3** ;
  - construire dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 (*onglet « Landuse »*) un nouveau scénario ; ce sera le cas notamment :
    - si les caractéristiques constructives du/des bâtiment(s) diffèrent de celles retenues dans les scénarios d'exposition standards (par exemple dans le cas d'un bâtiment sur cave ou d'un bâtiment construit sur une dalle en béton, d'un bâtiment sur plusieurs étages, de l'absence de bâtiment ou de la présence d'un parking) ;
    - si les temps d'exposition diffèrent significativement de ceux retenus dans les scénarios d'exposition standards (par exemple dans le cas de l'évaluation des risques d'un consommateur côtoyant une surface commerciale) ;
    - si des voies d'exposition particulières spécifiques au site doivent être prises en compte ; le Tableau 9 donne un aperçu des voies d'exposition implémentées dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 ;
    - si des paramètres d'exposition particuliers doivent être pris en compte (notamment le taux de respiration, la surface totale de la peau exposée, etc. pour les enfants en bas âge)

Des exemples de ces cas particuliers sont fournis à l'**Annexe B3** (section B3-2).

---

<sup>56</sup> Pour rappel, il existe 9 scénarios standards applicables au stade de l'EDR-SH et prédéfinis dans RISC Human<sup>®</sup> v.3.3 : agricole (Type I), résidentiel en zone rurale (Type IIb), résidentiel avec jardin potager (Type IIIa), résidentiel sans jardin potager (Type IIIb), récréatif avec bâti (Type IVa), récréatif sans bâti (Type IVb), commercial (Type IVc), industriel intérieur (Type Vint) et industriel extérieur (Type Vext).

Pour chaque nouveau scénario créé, l'expert donnera un bref descriptif du nouveau scénario dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3, précisera les voies d'exposition pertinentes, les temps d'exposition des cibles et justifiera les valeurs des paramètres qui ont été modifiées. Il se réfèrera aux règles définies à l'**Annexe B3** pour l'ajustement des paramètres.

Un exemple de création de scénario d'exposition est illustré ci-dessous (Figure 8).

Dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base potentielle, le(s) scénario(s) correspond(ent) à des modifications de configuration ou des modifications des modes d'utilisation du terrain qui rentrent dans le domaine du « normalement prévisible » compte tenu des éléments de droit qui s'appliquent pour le terrain et notamment les types d'utilisation du terrain normalement prévisibles et autorisés d'après l'inscription du terrain au Plan de secteur (PS) ou dans un Plan Communal d'Aménagement (PCA). Dans ce cas de figure, l'expert se réfèrera aux scénarios d'exposition standards prédéfinis dans le fichier .LND de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3. et décrits à l'**Annexe B3**. Si plusieurs scénarios d'exposition sont possibles, l'expert devra envisager les différentes variantes afin de couvrir le scénario le plus contraignant. Les seuls paramètres ajustables sans restriction (qualifiés de « toujours modifiables ») sont :

- les propriétés physico-chimiques du sol (pH, taux de matière organique, densité apparente) ;
- les caractéristiques de la pollution (profondeur moyenne de la pollution, diamètre de la zone polluée) ;
- la longueur de la conduite (en polyéthylène) traversant la zone polluée.

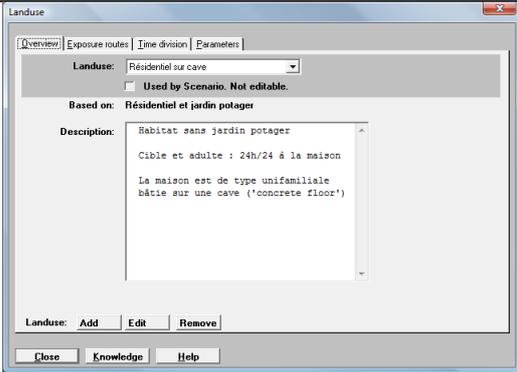
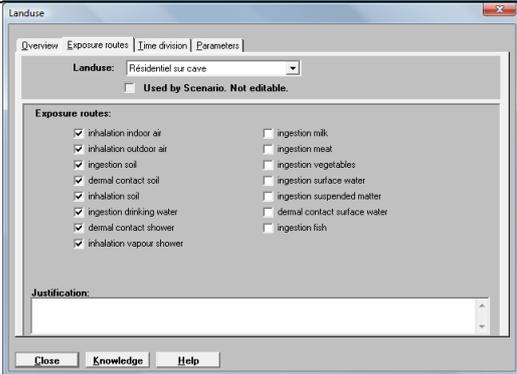
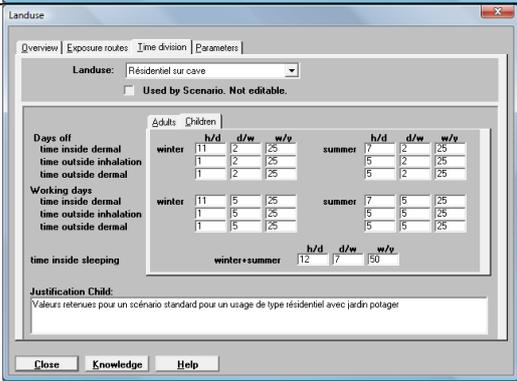
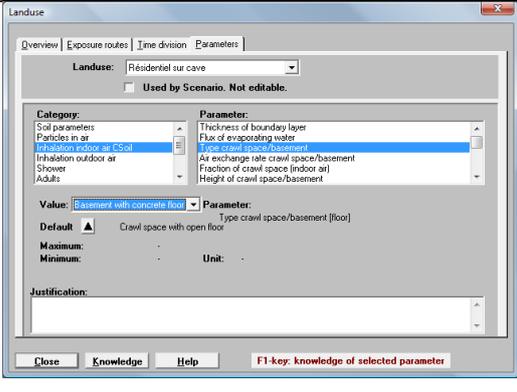
**Tableau 9 – Voies d'exposition considérées dans les modules CSOIL et VOLASOIL du modèle d'évaluation des risques RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3**

	RISC Human (C-SOIL)	RISC Human (VOLASOIL)
Inhalation air intérieur	x (sources sol et eau)	x (eau)
Inhalation air extérieur	x (sources sol et eau)	
Inhalation de poussières	x	
Inhalation de vapeurs de douche	x	
Ingestion de sol	x	
Ingestion d'eau de boisson (perméation)	x	
<i>Ingestion d'eau (pompage ou captage)*</i>	x	
<i>Ingestion d'eau de surface *</i>	x	
Ingestion de végétaux (légumes-racines et légumes-feuilles)	x	
<i>Ingestion de viande de bœuf **</i>	x	
<i>Ingestion de lait **</i>	x	
<i>Ingestion de poisson *</i>	x	
Contact cutané avec les sols	x	
<i>Contact cutané avec les eaux de surface (baignade) *</i>	x	
Contact cutané avec l'eau de douche	x	

\* Voies d'exposition non implémentées dans les scénarios d'exposition standards ou dans leurs variantes.

\*\* Voies seulement considérées dans l'usage IIb. L'ingestion de lait ne concerne pas le lait maternel, ni le lait en poudre. Cette voie d'exposition peut être utilisée dans la mesure où il est considéré que la cible n'est pas exclusivement allaitée au sein, ni exclusivement nourrie avec du lait en poudre.

### Création d'un scénario d'exposition de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 – base d'évaluation actuelle

<p>1. Description du nouveau scénario d'exposition créé dans l'onglet « <i>Landuse</i> &gt; <i>Overview</i> » de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3.</p>	
<p>2. Sélection des voies d'exposition à considérer dans l'onglet « <i>Landuse</i> &gt; <i>exposure routes</i> ». RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 permet de considérer 15 voies d'exposition distinctes.</p>	
<p>3. Modification (si dûment justifiée par l'expert) des temps d'exposition pour chacune des cibles considérées dans l'onglet « <i>Landuse</i> &gt; <i>time division</i> ». Dans le cas présent, l'expert a maintenu les temps d'exposition définis dans le scénario standard pour un usage de type « résidentiel avec jardin potager ».</p>	
<p>4. Modification (si dûment justifiée par l'expert) des paramètres pertinents dans l'onglet « <i>Landuse</i> &gt; <i>parameters</i> ». Dans le cas présent, l'expert modifiera (moyennant justification), dans la catégorie « <i>Inhalation indoor air CSOIL</i> » :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le paramètre « <i>type crawl space/basement</i> » en sélectionnant « <i>basement with concrete floor</i> » pour une cave avec une dalle en béton ;</li> <li>les paramètres relatifs aux dimensions de la cave ;</li> <li>les paramètres relatifs à l'épaisseur de la dalle en béton.</li> </ul>	

**Figure 8 – Création d'un scénario d'exposition de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3**

#### 4.3.2.2 Etape 2 : identification des dangers – définition des relations dose/réponse

L'**étape 2** de l'EDR-SH consiste à rassembler les données toxicologiques relatives aux polluants analysés, à évaluer le potentiel dangereux et à sélectionner les VTR qui seront retenues pour cette évaluation des risques. Le potentiel dangereux et les valeurs toxicologiques de référence sont définis dans les concepts clés *supra* (cf. § 2.8 et 2.11).

Dans le cas où le polluant est normé, l'expert utilisera les valeurs toxicologiques retenues pour l'élaboration des  $VS_H$  (**Annexe B5**). Elles sont spécifiées pour les voies d'administration par ingestion (et contact cutané) et par inhalation, en distinguant :

- d'une part, les polluants associés à des effets « à seuil » (généralement les polluants non cancérogènes et cancérogènes non génotoxiques) ;
- et d'autre part, les polluants associés à des effets « sans seuil » (polluants cancérogènes génotoxiques).

Ces valeurs sont également pré-encodées dans l'outil *Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm* mis à disposition des bureaux d'études pour la caractérisation des risques à l'**étape 4**.

Dans le cas où le polluant n'est pas normé, l'expert doit procéder à une recherche sur le potentiel dangereux de cette substance (en particulier le caractère cancérogène) et sur les VTR disponibles en consultant :

- les banques de données relatives au caractère cancérogène de la substance (liste des organismes dans l'**Annexe B7**) ;
- les banques de données relatives aux VTR (liste des organismes dans l'**Annexe B7**).

L'expert sélectionnera des valeurs toxicologiques en suivant la démarche générale d'analyse et de choix des VTR reprise à l'**Annexe B7**. Plusieurs cas de figure peuvent se présenter à l'issue de la consultation des bases de données consultées : la disponibilité de plusieurs VTR, d'une seule VTR ou l'absence de VTR.

En présence de plusieurs VTR disponibles, le choix des VTR peut être décomposé en deux temps :

- l'analyse de la pertinence : sélection des VTR, parmi les sources consultées, qui sont en adéquation avec les données d'exposition spécifiques au cas considéré : voie(s) et durée(s) d'exposition, formes chimiques identifiées ;
- le choix proprement dit parmi les VTR pertinentes, par exemple, sur la base de l'analyse scientifique des VTR ou de leur caractère plus ou moins conservatoire.

Les facteurs d'incertitude (UF) et les organes-cibles relatifs aux VTR pour les effets « à seuil » doivent également être répertoriés pour préparer l'**étape 4** de caractérisation des risques, qui peut comprendre l'additivité des risques par organe-cible pour les polluants associés à des effets « à seuil ».

En l'absence de VTR et d'informations toxicologiques, l'expert peut se référer au *Threshold for Toxicological Concern* ou TTC, qui est un critère de préoccupation toxicologique en dessous duquel il n'y a pas de raison de s'inquiéter hormis pour les polluants agissant sur des récepteurs ou certains puissants cancérogènes (Cf. **Annexe B7**).

#### 4.3.2.3 Etape 3 : évaluation des expositions

L'**étape 3** de l'EDR-SH consiste à calculer par le biais de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 les doses d'exposition (exprimées en mg/kg<sub>p.c.</sub>/jour) pour chaque voie d'exposition pertinente auxquelles sont ou seraient soumises la/les cible(s) identifiée(s) au droit du terrain (ou du site<sup>57</sup>) sur la base du Modèle conceptuel du site (MCS).

Les doses d'exposition sont calculées séparément dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base actuelle (détermination de la « menace grave » et de la nécessité d'assainir) ou potentielle (nécessité d'imposer des mesures de sécurité et/ou de suivi).

Les équations auxquelles a recours le modèle RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 sont reprises à l'**Annexe B2**, et dépendent du module sélectionné, soit :

- en l'absence de phase liquide non aqueuse dans les sols, d'une phase liquide non aqueuse flottante (LNAPL) ou plongeante (DNAPL) dans les eaux souterraines, le module CSOIL ;
- en présence de produit pur dans les sols, d'une phase liquide non aqueuse flottante (LNAPL) ou plongeante (DNAPL) dans les eaux souterraines, le module VOLASOIL.

Les doses ainsi calculées sont ultérieurement retranscrites manuellement dans l'un des outils de type Excel mis à disposition par la DPS, selon l'approche mono- ou multi-polluant retenue et selon le caractère normé ou non du polluant, pour la caractérisation des risques à l'**étape 4**.

La procédure de calcul des doses d'exposition avec RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 est illustrée ci-dessous (Figure 9).

L'**étape 3** présuppose la définition d'un ou de plusieurs scénario(s) d'exposition (standard(s) ou non) réalisée à l'**étape 1** (cf. **Annexe B3**). Les voies d'exposition ont également été sélectionnées dès l'**étape 1**. Pour rappel, RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 permet de distinguer quinze voies d'exposition (cf. 2.5). Celles retenues dans les scénarios standards sont spécifiées *supra* (cf. Tableau 9).

En ce qui concerne la voie d'exposition par **contact cutané**, deux aspects doivent être distingués :

- d'une part les effets locaux, qui ne peuvent pas être interprétés avec le logiciel RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 ou tout autre logiciel similaire, parce que ces effets sont liés à des doses plutôt « appliquées » qu'absorbées ;
- d'autre part les effets systémiques, pour lesquels toutes les voies d'exposition, y compris le contact cutané, doivent être considérées. En effet, des études menées par l'US-EPA (2004) démontrent que la dose obtenue par contact cutané avec l'eau peut être significative comparée avec la dose obtenue pour la voie orale.

Par conséquent, par mesure de précaution, les voies d'exposition par contact cutané (avec l'eau et le sol) et celles liées à la perméation (ingestion d'eau, inhalation de vapeurs durant la douche) doivent être considérées dans le cadre d'une évaluation détaillée des risques, contrairement aux récentes recommandations de l'INERIS (voir encadré). Au stade actuel, cette approche permet en outre une cohérence avec la procédure d'élaboration des VS<sub>H</sub>.

---

<sup>57</sup> Au sens du GREO.

**Prise en compte des voies d'exposition liées à la pollution de l'eau suite au phénomène de perméation et au contact cutané (recommandations de l'INERIS, 2009)**

Au vu de l'évolution récente de la méthodologie, il apparaît que la prise en compte des voies d'exposition par contact cutané et de celles liées à la perméation dans le cadre d'une évaluation détaillée des risques n'est plus recommandée à ce jour par l'INERIS (2009) pour les raisons décrites ci-après :



- les risques par contact cutané sont dérivés d'une VTR orale, car il n'existe pas de VTR contact cutané alors que la dérivation voie à voie n'est pas recommandée par l'InVS<sup>58</sup> et la DGS<sup>59</sup> en France. En effet, la possibilité d'une extrapolation à partir de la voie orale n'est pas satisfaisante scientifiquement car elle ne prend pas en compte les particularités des effets locaux cutanés, le métabolisme cutané ou les différences d'absorption cutanée en fonction des régions du corps. Il est cependant à souligner qu'en cas d'informations disponibles dans la littérature sur des effets sensibilisants ou autres des substances, ceux-ci sont intégrés aux mesures de gestion proposées par l'expert ;
- les risques liés à la perméation de substances volatiles via les conduites d'eau ne sont plus pris en compte en France dans les pratiques actuelles de l'INERIS, et ce, notamment, en raison :
  - des incertitudes liées à la modélisation et à certains paramètres retenus,
  - de leur faible contribution au risque global : les voies d'exposition associées ne sont a priori pas prépondérantes au regard, notamment, de la voie d'exposition par inhalation de vapeurs issues du sol.

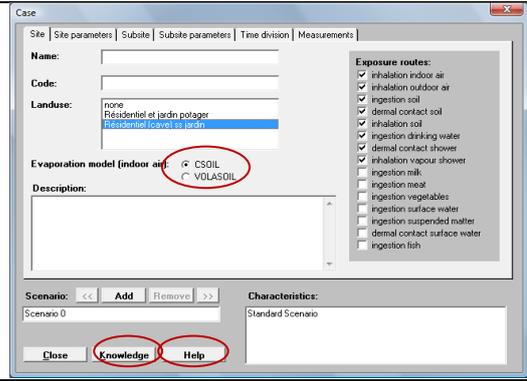
---

<sup>58</sup> InVS : Institut de Veille Sanitaire (France)

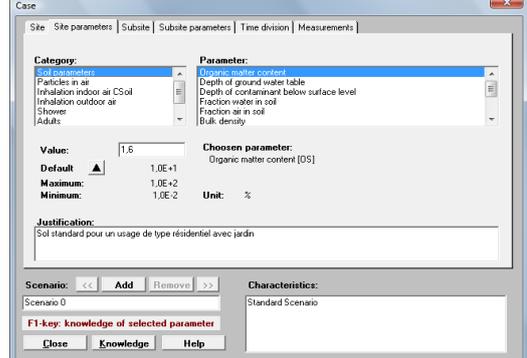
<sup>59</sup> DGS : Direction Générale de la Santé (France)

**Procédure de calcul des doses d'exposition dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 pour un scénario d'exposition prédéfini (cf. étape 1) de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager**

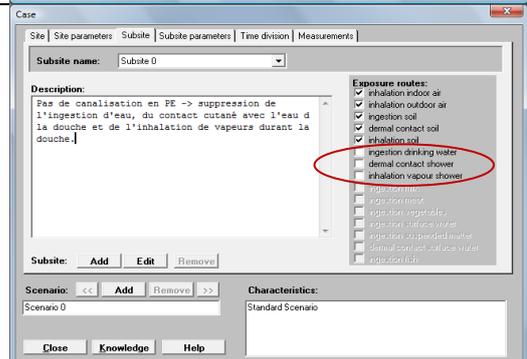
1. Sélection du scénario d'exposition prédéfini à l'étape 1. Les voies d'exposition prédéfinies apparaissent cochées.
2. Choix du module adéquat pour le calcul de la dose d'exposition par inhalation (CSOIL ou VOLASOIL) (Annexe B2) dans l'onglet « Case > Site » de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3.
3. A tout moment, l'utilisateur peut recourir au « Knowledge » ou au « Help » pour en savoir plus. Les équations utilisées sont reprises à l'Annexe B2.



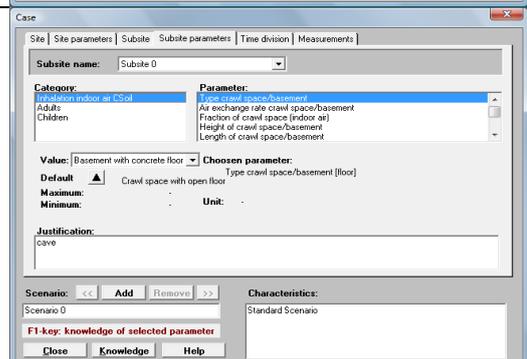
4. Vérification ou modification des valeurs attribuées à chacun des paramètres lors de la création du scénario d'exposition dans « Case > Site parameters » de RISC Human<sup>®</sup> V. 3.3.



5. Création – si pertinent – d'un sous-site. Dans le cas présent, les voies d'exposition par ingestion d'eau, contact cutané avec l'eau de la douche et l'inhalation de vapeurs durant la douche ont été désélectionnées en l'absence de canalisations en polyéthylène.



6. Vérification ou modification des valeurs attribuées à chacun des paramètres du sous-site dans « Case > Sub-site parameters » de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3.



**Figure 9 – Procédure de calcul des doses d'exposition dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 pour un scénario d'exposition prédéfini (cf. étape 1) de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager.**



<p>7. Vérification ou modification (moyennant justification par l'expert) des valeurs attribuées pour le temps d'exposition de chaque cible : adulte et enfant dans l'onglet « Case &gt; Time division ». Pour rappel, les valeurs par défaut sont reprises à l'Annexe B3.</p>	
<p>8. Sélection de « Measurements &gt; Edit » en vue d'introduire les concentrations en polluants sélectionnés à l'étape 1.</p>	
<p>9. Introduction de la concentration représentative du benzène dans le sol (= 3 mg/kg) pour l'ensemble du site (en l'absence de sous-site) ou pour le sous-site.</p> <p>10. Possibilité de préciser les concentrations représentatives dans le sol en distinguant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les zones bâties (« built on area »)</li> <li>• les zones non couvertes (« open surface »)</li> <li>• les zones cultivées ou jardins (« garden or cultivated area »)</li> </ul> <p>Attention : de ce choix découle la prise en compte ou la non prise en compte de la concentration introduite pour le calcul de certaines doses d'exposition (voir « Knowledge »)</p>	
<p>11. Introduction des concentrations mesurées dans d'autres milieux et sélectionnées à l'étape 1 via l'onglet « Contact media ». Dans le cas présent, introduction des concentrations représentatives dans l'air à l'extérieur (= 5 µg/m³) et à l'intérieur (= 1 µg/m³) du bâtiment.</p>	

Figure 9 (suite) – Procédure de calcul des doses d'exposition dans RISC Human® v. 3.3 pour un scénario d'exposition prédéfini (cf. étape 1) de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager.

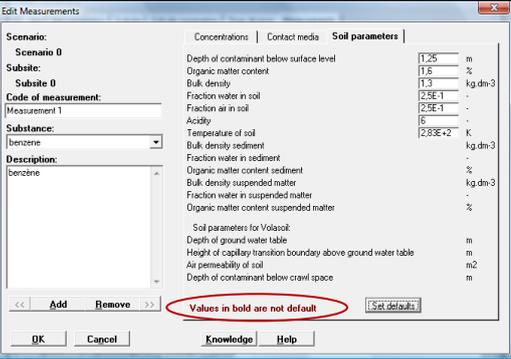
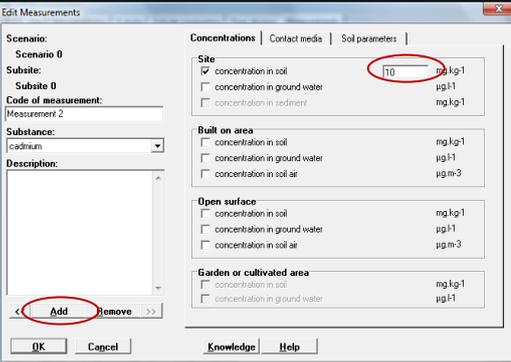
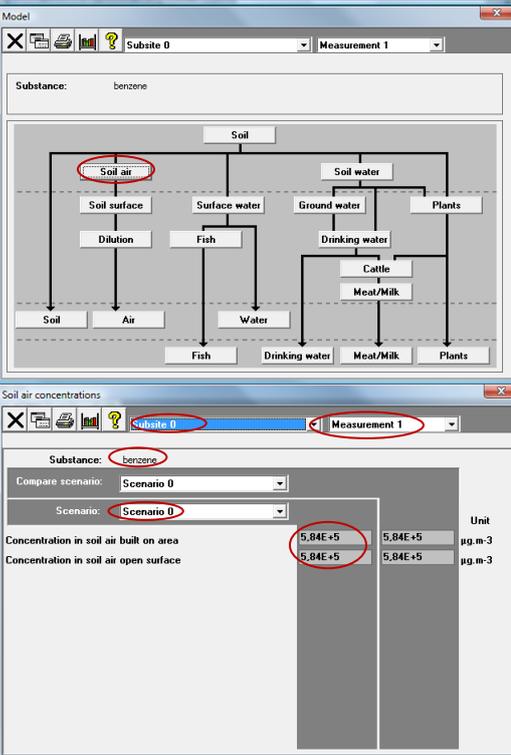
<p>12. Vérification ou modification des valeurs attribuées aux propriétés physico-chimiques du sol. En l'absence de mesures pertinentes pour le taux de matière organique, la valeur par défaut est maintenue. Les valeurs distinctes des valeurs par défaut apparaissent en <b>gras</b>.</p>																
<p>13. Introduction des concentrations représentatives pour un autre polluant en cliquant sur « Add ».</p> <p>14. L'expert quitte la fenêtre en cliquant sur « OK »</p>																
<p>15. A tout moment, l'expert peut accéder aux concentrations compartimentales introduites manuellement ou estimées par le modèle via l'onglet « Model », en cliquant sur les différents compartiments (sol, viande, eau de boisson, etc.)</p> <p>Par exemple, pour le scénario, le sous-site et l'échantillon considérés, la concentration en benzène dans l'air du sol, calculée à partir de la concentration dans le sol de 3 mg/kg (introduite à l'étape 9), est de <math>5.84 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</p>	 <table border="1" data-bbox="890 1299 1401 1668"> <thead> <tr> <th>Substance:</th> <th colspan="2">benzene</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Compare scenario:</td> <td colspan="2">Scenario 0</td> </tr> <tr> <td>Scenario:</td> <td colspan="2">Scenario 0</td> </tr> <tr> <td>Concentration in soil air built on area</td> <td>5.84E+5</td> <td>5.84E+5 <math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math></td> </tr> <tr> <td>Concentration in soil air open surface</td> <td>5.84E+5</td> <td>5.84E+5 <math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math></td> </tr> </tbody> </table>	Substance:	benzene		Compare scenario:	Scenario 0		Scenario:	Scenario 0		Concentration in soil air built on area	5.84E+5	5.84E+5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Concentration in soil air open surface	5.84E+5	5.84E+5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Substance:	benzene															
Compare scenario:	Scenario 0															
Scenario:	Scenario 0															
Concentration in soil air built on area	5.84E+5	5.84E+5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$														
Concentration in soil air open surface	5.84E+5	5.84E+5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$														

Figure 9 (suite) – Procédure de calcul des doses d'exposition dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 pour un scénario d'exposition prédéfini (cf. étape 1) de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager.

16. Calcul des doses d'exposition par RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 et synthèse des résultats disponibles en sélectionnant l'onglet « Uptake table »<sup>60</sup>.
17. Transcription manuelle pour l'étape 4 des doses d'exposition [exprimées en mg/kg/jour]
  - pour les cibles pertinentes : ici l'enfant et l'adulte
  - pour les voies d'exposition pertinentes
  - pour le sous-site sélectionné dans « subsite » correspondant au polluant « substance ».

**Uptake table - benzene**

exposure (mg/kg.d)	Scenario 0			Scenario 0		
	child	adult	lifelong	child	adult	lifelong
Inhalation indoor air	4.48E-4	2.02E-4	2.23E-4	4.48E-4	2.02E-4	2.23E-4
Inhalation outdoor air	3.2E-4	1.78E-4	1.9E-4	3.2E-4	1.78E-4	1.9E-4
Ingestion soil	4.0E-5	4.29E-6	7.35E-6	4.0E-5	4.29E-6	7.35E-6
Dermal contact soil	1.35E-5	6.26E-7	6.88E-7	1.35E-5	6.26E-7	6.88E-7
Inhalation soil	5.24E-8	2.47E-8	2.7E-8	5.24E-8	2.47E-8	2.7E-8
Ingestion drinking water	-	-	-	-	-	-
Dermal contact shower	-	-	-	-	-	-
Inhalation vapours shower	-	-	-	-	-	-
Ingestion milk	-	-	-	-	-	-
Ingestion meat	-	-	-	-	-	-
Ingestion vegetables	-	-	-	-	-	-
Ingestion surface water	-	-	-	-	-	-
Ingestion suspended matter	-	-	-	-	-	-
Dermal contact surface water	-	-	-	-	-	-
Ingestion fish	-	-	-	-	-	-
Dose	8.09E-4	3.84E-4	4.21E-4	8.09E-4	3.84E-4	4.21E-4

**Uptake table - cadmium**

exposure (mg/kg.d)	Scenario 0			Scenario 0		
	child	adult	lifelong	child	adult	lifelong
Inhalation indoor air	-	-	-	-	-	-
Inhalation outdoor air	-	-	-	-	-	-
Ingestion soil	1.33E-4	1.43E-5	2.45E-5	1.33E-4	1.43E-5	2.45E-5
Dermal contact soil	-	-	-	-	-	-
Inhalation soil	1.75E-7	8.22E-8	9.01E-8	1.75E-7	8.22E-8	9.01E-8
Ingestion drinking water	-	-	-	-	-	-
Dermal contact shower	-	-	-	-	-	-
Inhalation vapours shower	-	-	-	-	-	-
Ingestion milk	-	-	-	-	-	-
Ingestion meat	-	-	-	-	-	-
Ingestion vegetables	-	-	-	-	-	-
Ingestion surface water	-	-	-	-	-	-
Ingestion suspended matter	-	-	-	-	-	-
Dermal contact surface water	-	-	-	-	-	-
Ingestion fish	-	-	-	-	-	-
Dose	1.34E-4	1.44E-5	2.46E-5	1.34E-4	1.44E-5	2.46E-5

Figure 9 (suite) – Procédure de calcul des doses d'exposition dans RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 pour un scénario d'exposition prédéfini (cf. étape 1) de type résidentiel (sur cave) sans jardin potager.

<sup>60</sup> Attention, le logiciel présente les résultats dans un « uptake table » alors qu'il s'agit d'un « intake table ».

#### 4.3.2.4 Etape 4 : caractérisation des risques

##### 4.3.2.4.1 Approche générale

L'**étape 4** de l'EDR-SH consiste à caractériser les risques individuels polluant par polluant, ou pour l'ensemble des polluants, à l'aide des doses d'exposition calculées dans l'**étape 3** et des VTR retenues pour chacune des voies d'administration dans l'**étape 2**.

Comme expliqué à la section 2.13, le risque sera finalement quantifié à l'aide de l'Indice de Risque (IR), et ce tant pour les effets « à seuil » que pour les effets « sans seuil ».

De façon générale et pour rappel, l'IR est calculé séparément pour chaque type d'effet (« à seuil » et « sans seuil ») et pour chaque voie d'administration (voie orale (et contact cutané) ; voie par inhalation). Seront ainsi obtenus, pour les polluants individuels, les indices de risque suivants :

- pour les effets « à seuil » :
  - $IR_{or,c}$  : Indice de risque par voie orale pour la cible enfant,
  - $IR_{or,a}$  : Indice de risque par voie orale pour la cible adulte,
  - $IR_{inh,c}$  : Indice de risque par voie inhalation pour la cible enfant,
  - $IR_{inh,a}$  : Indice de risque par voie inhalation pour la cible adulte ;
- pour les « effets sans seuil » :
  - $IR_{or,vie\ entière}$  : Indice de risque par voie orale pour la cible « vie entière »,
  - $IR_{inh,vie\ entière}$  : Indice de risque par voie inhalation pour la cible « vie entière ».

Ces indices de risques peuvent être calculés aisément grâce à deux outils mis à disposition de l'expert : *Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm* et *Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm*. Ils font l'objet d'une brève description à la section 4.3.2.4.3.

##### 4.3.2.4.2 Cas particuliers pour le calcul des Indices de Risques (IR)

###### 4.3.2.4.2.1 Mercure

Dans le cas particulier du mercure (total)<sup>61</sup>, l'indice de risque est une combinaison des indices de risque de chacune des formes considérées compte tenu d'une hypothèse sur la composition du mélange.

En l'absence d'indications permettant de conclure à la présence de mercure élémentaire ou de diméthylmercure, les seules formes à considérer sont le monométhylmercure (à raison de 5 %) et le mercure inorganique (à raison de 95 %).

Les doses d'exposition sont calculées en suivant la méthodologie décrite *supra* (cf. 4.3.2.1 à 4.3.2.3) en fixant les concentrations représentatives de chacune des formes considérées aux valeurs suivantes :

- pour le monométhylmercure, à 95 % de la concentration représentative du mercure total ;
- pour le mercure inorganique, à 5 % de la concentration représentative du mercure total.

<sup>61</sup> Et en l'absence d'une méthode analytique permettant de distinguer le mercure organique du mercure inorganique.

Les doses d'exposition calculées par le logiciel RISC Human<sup>®</sup> v.3.3 pour chacune des formes sont retranscrites dans l'outil *Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm*. Seront ainsi obtenus les indices de risque suivants :

- pour le mercure inorganique (polluant à effets « à seuil ») :
  - IR<sub>or,c</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible enfant,
  - IR<sub>or,a</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible adulte,
  - IR<sub>inh,c</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible enfant,
  - IR<sub>inh,a</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible adulte ;
- pour le monométhylmercure (polluant à effets « à seuil »):
  - IR<sub>or,c</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible enfant,
  - IR<sub>or,a</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible adulte.

au départ desquels seront calculés les critères de comparaison pour le mercure total (cf. Tableau 14) en vue de l'interprétation des résultats (cf. **étape 5** ; 4.3.2.5.3.2).

#### 4.3.2.4.2.2 Hydrocarbures pétroliers

Deux cas de figure doivent être distingués selon qu'un split aromatique/aliphatique ait été réalisé ou non sur les échantillons de sol et/ou d'eau souterraine.

En l'absence d'un split aromatique/aliphatique, les indices de risques sont calculés pour chaque fraction globale (soit les fractions EC<sub>5-8</sub>, EC<sub>> 8-10</sub>, EC<sub>> 10-12</sub>, EC<sub>> 12-16</sub>, EC<sub>> 16-21</sub> et EC<sub>> 21-35</sub>) dont la concentration représentative dépasse les valeurs limites de premier niveau (cf 4.2.2.2.1). Le Tableau 10 précise les fractions aromatiques et aliphatiques constitutives de chacune des fractions globales.

Les doses d'exposition sont estimées en suivant la méthodologie décrite *supra* (cf. 4.3.2.1 à 4.3.2.3) en fixant les concentrations représentatives de chacune des fractions aliphatiques et aromatiques considérées en partant de l'hypothèse que chaque fraction globale est constituée conventionnellement de 70 % de composés aliphatiques et 30 % d'aromatiques. Ainsi,

- la concentration représentative de la fraction EC<sub>i</sub> aromatique est fixée à 30 % de la concentration représentative de la fraction globale EC (excepté pour la fraction EC<sub>5-8</sub> pour laquelle la concentration de chaque fraction aromatique est fixée à 15 %) ;
- la concentration représentative de la fraction EC<sub>i</sub> aliphatique est fixée à 70 % de la concentration représentative de la fraction globale EC<sub>i</sub> (excepté pour la fraction EC<sub>5-8</sub> pour laquelle la concentration de chaque fraction aliphatique est fixée à 35 %).

**Tableau 10 – Composition des fractions globales exprimées en équivalent carbone (EC)**

Fraction globale EC	Composition des fractions globales
EC <sub>5-8</sub>	EC <sub>5-6</sub> ali EC <sub>&gt;6-8</sub> ali EC <sub>&gt;6-7</sub> arom EC <sub>&gt;7-8</sub> arom
EC <sub>&gt;8-10</sub>	EC <sub>&gt;8-10</sub> ali EC <sub>&gt;8-10</sub> arom
EC <sub>&gt;10-12</sub>	EC <sub>&gt;10-12</sub> ali

Fraction globale EC	Composition des fractions globales
	EC <sub>&gt;10-12</sub> arom
EC <sub>&gt;12-16</sub>	EC <sub>&gt;12-16</sub> ali EC <sub>&gt;12-16</sub> arom
EC <sub>&gt;16-21</sub>	EC <sub>&gt;16-21</sub> ali EC <sub>&gt;16-21</sub> arom
EC <sub>&gt;21-35</sub>	EC <sub>&gt;21-35</sub> ali EC <sub>&gt;21-35</sub> arom

Si les résultats analytiques disponibles sont issus d'un split aromatique/aliphatique, les indices de risque sont calculés pour chaque fraction aliphatique et aromatique dont les concentrations représentatives dépassent les valeurs limites de premier niveau correspondantes (cf. 4.2.2.2.1). Les doses d'exposition sont estimées en suivant la méthodologie décrite *supra* (cf. 4.3.2.1 à 4.3.2.3).

Les doses d'exposition ainsi calculées par le logiciel RISC Human<sup>®</sup> v.3 3 pour chacune des fractions aliphatique(s) et aromatique(s) sont retranscrites dans l'outil *Pollution\_Analysis\_Tool.xls*. Seront ainsi obtenus les indices de risque suivants :

- pour la fraction aliphatique EC<sub>i</sub> :
  - IR<sub>Ali-ECi, or, c</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible enfant ;
  - IR<sub>Ali-ECi, or, a</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible adulte ;
  - IR<sub>Ali-ECi, inh, c</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible enfant ;
  - IR<sub>Ali-ECi, inh, a</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible adulte ;
- pour la fraction aromatique EC<sub>i</sub> :
  - IR<sub>Arom-ECi, or, c</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible enfant ;
  - IR<sub>Arom-ECi, or, a</sub> : Indice de risque par voie orale pour la cible adulte ;
  - IR<sub>Arom-ECi, inh, c</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible enfant ;
  - IR<sub>Arom-ECi, inh, a</sub> : Indice de risque par voie inhalation pour la cible adulte ;

au départ desquels seront calculés les critères de comparaison pour les hydrocarbures pétroliers (cf. Tableau 14) en vue de l'interprétation des résultats (cf. **étape 5** ; 4.3.2.5.3.2).

#### 4.3.2.4.3 Outils mis à disposition pour la caractérisation des risques

Deux outils sont mis à disposition de l'expert : *Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm* et *Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm*.

Le premier (*Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm*) permet, pour un polluant et un usage donné, de calculer les indices de risque en reportant les doses d'exposition calculées par RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 pour chacune des voies d'exposition pertinentes identifiées dans le MCS et pour chacune des cibles pertinentes (enfant, adulte). Les VTR y sont pré-encodées pour les effets « à seuil » et/ou pour les effets « sans seuil » pour l'ensemble des polluants normés (repris à l'Annexe 1 du « décret sols »)<sup>62</sup>. Pour les polluants non normés, l'expert a la possibilité d'introduire les VTR manuellement (cf. 4.3.2.4.3.2).

Le second (*Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm*), plus complet, se base sur le premier et propose une approche multi-polluants. Il permet le calcul simultané des indices de risque relatifs à un ensemble de polluants normés concernant éventuellement une ou plusieurs zone(s) récepteur, à partir des doses d'exposition correspondantes calculées par RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 et préalablement introduites pour chacune des voies d'exposition pertinentes et pour chacune des cibles pertinentes (enfant, adulte). Cet outil génère également un rapport synthétisant, pour chacune des zones récepteur, les indices de risque obtenus pour les polluants présents dans le sol et dans l'eau souterraine ainsi que leur interprétation conformément à la section 4.3.2.5.

##### 4.3.2.4.3.1 Cas des polluants normés : recours à l'outil *Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm*

Dans le cas d'un polluant normé, il est conseillé à l'expert de recourir à l'outil *Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm*. Un « User Guide » succinct est fourni dans l'outil pour en faciliter l'utilisation par l'expert.

Avant toute utilisation de cet outil, l'expert vérifiera :

- dans l'onglet « *Command Board* » que le chemin d'accès au répertoire de travail soit exact,
- que les sous-répertoires « *Outils* » et « *Résultats* » existent ; si e n'est pas le cas, l'expert peut les créer à l'aide du bouton « *créer répertoires* » prévu à cet effet ;
- que l'outil *Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm* est placé dans le sous-répertoire « *Outils* » ainsi créé ;

Une fois ces vérifications faites, l'expert procédera aux étapes suivantes :

- dans l'onglet « *Command Board* », préciser le nom du site (et qui sera repris dans les différents onglets générés ultérieurement par l'outil), le nom de la zone récepteur et le nombre de zones récepteur à considérer dans l'EDR-SH ; le bouton « *Créer feuilles d'encodage* » créera autant d'onglets que de zones récepteur ;
- pour chaque zone récepteur (Figure 10),
  - o sélectionner l'usage à retenir ; une fois l'usage sélectionné, les voies d'exposition considérées par défaut et pour lesquelles les doses doivent être introduites apparaissent clairement (cellules non grisées) ; si un « *Usage personnalisé* » est retenu, toutes les voies d'exposition sont considérées par défaut ; il appartient à l'utilisateur d'introduire uniquement les doses d'exposition pertinentes ;
  - o pour tous les polluants retenus,
    - préciser le milieu (sol ou eaux souterraines),

<sup>62</sup> En attendant la consolidation des valeurs toxicologiques dans le cadre des travaux du GIER, seulement deux VTR apparaîtront. Les cas suivants peuvent se présenter : 1) deux VTR pour les effets « à seuil » exclusivement ; 2) deux VTR pour les « effets sans seuil » exclusivement ; 3) une VTR pour les effets « à seuil » et une VTR pour les « effets sans seuil »

- introduire manuellement la concentration représentative retenue pour ce polluant dans le sol [en mg/kg] ou dans les eaux souterraines [ $\mu\text{g/L}$ ] pour laquelle les doses ont été calculées par le biais de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 ; une attention toute particulière sera donnée pour l'encodage du mercure et des hydrocarbures pétroliers comme précisé *supra* (cf. 4.2.2.2.1 et 4.2.2.2.2) et dans l'onglet « *User Guide* » de l'outil ;
- transcrire manuellement les doses d'exposition pour chaque cible pertinente (enfant et/ou adulte) pour les effets « à seuil » ; les doses correspondant aux effets « sans seuil » sont calculées automatiquement (selon la procédure présentée au § 2.9) ;

Lorsque tous les onglets relatifs aux zones récepteur sont complétés, l'expert pourra générer un rapport en cliquant dans l'onglet « *Command Board* » sur le bouton « *Générer rapport* ». Un nouveau fichier intitulé « *nom-du-site\_Rapport\_date\_n°.xls* » est créé dans le répertoire « *Résultats* » ; ce rapport comprend :

- l'onglet de base reprenant les doses d'exposition par zone récepteur, intitulé **ZR\_i** ;
- un onglet **résultats EDR-SH\_ZR\_i** reprenant, pour chaque polluant considéré, les valeurs des différents indices de risque (IR) pour chaque voie d'administration et pour chaque type d'effet (« à seuil » et « sans seuil ») ainsi que la plage de risque associée au terme de l'étape 4 de caractérisation du risque (Figure 11) ;
- un onglet **résultats IRG\_ZR\_i** synthétisant, pour les polluants se situant dans la plage orange, le calcul des Indices de Risque Global (IRG) et la codification finale du risque selon le Modèle des Feux de Signalisation (MFS) conformément au GRER, Partie B, §4.3.2.5.3 (Figure 12) ;
- un onglet **Résumé** synthétise les résultats pour l'ensemble des zones récepteur.



		Effets sans seuil								Effets à seuil								Codification du risque		
		voie orale et contact cutané		voie par inhalation		pondéré par IR-S	pondéré par IR-I	voie orale et contact cutané			voie par inhalation		pondéré par IR-S		pondéré par IR-I		plage verte	plage orange	plage rouge	
		IRor*	IR-I*	IRinh*	IR-I*	IR retenu	IR retenu	enfants	adultes	IR-I	enfants	adultes	IR-I	enfants	adultes	enfants				adultes
1. Polluants seuls	Concentration représentative (mg/kg)	Profondeur représentative (m <sub>SNB</sub> )																		
<b>Sol</b>																				
	Concentration représentative (µg/L)	Profondeur représentative (m <sub>SNB</sub> )																		
<b>Nappe</b>																				

(\* ) Concept clé d'Indice de Risque (cf. 2.13 et 2.15).

Figure 11 - Illustration de l'onglet « Résultats EDR-SH\_ZR\_i » dans l'outil Pollution\_Analysis\_Tool.xls (les cellules grisées indiquent que la cible « enfant » n'est pas considérée).

tache de contamination 1		Effets sans seuil						Effets à seuil								Codification du risque		
1. Polluants seuls	Organe cible	voie orale et contact cutané		voie par inhalation		pondéré par IR-S	pondéré par IR-I	voie orale et contact cutané		voie par inhalation		pondéré par IR-S		pondéré par IR-I		plage verte	plage orange	plage rouge
		IRor*	IR-I*	IRinh*	IR-I*	IR retenu	IR retenu	enfants	adultes	IR-I	IRinh,c	IRinh,a	IR-I	IR,c retenu	IR,a retenu			

2. Effets synergiques						plage orange	plage rouge
Effets sans seuil	seuil d'acceptabilité	N**	IRGor*	IRGinh*	IRG*		
cancer	1						

Effets à seuil : organe-cible	seuil d'acceptabilité	N**	enfants			adultes			plage orange	plage rouge
			IRGor,c	IRGinh,c	IRG,c	IRGor,a	IRGinh,a	IRG,a		
Foie	1									
Rein	1									
Sang	1									
Diminution du poids corporel	1									
Système nerveux central	1									
Tractus respiratoire	1									
Système cardiovasculaire	1									
Effets sur le développement	1									
Effets immunologiques	1									
Rate	1									
Effets endocriniens	1									
Diminution du poids des organes	1									
Système nerveux périphérique	1									
Thymus	1									
Système hématopoïétique	1									
Thyroïde	1									

Figure 12 - Illustration de l'onglet « Résultats IRG\_ZR\_i » dans l'outil Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm

#### 4.3.2.4.3.2 Cas des polluants non normés : recours à l'outil *Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm*

Dans le cas d'un polluant normé, il est conseillé à l'expert de recourir à l'outil *Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm* (Figure 13). Cet outil permet à l'expert de calculer aisément les indices de risques en procédant – manuellement – comme suit :

- sélectionner la famille de polluants : métaux lourds ou organiques ;
- parmi la liste des polluants, sélectionner le « polluant non normé » et préciser le nom du polluant ;
- transcrire manuellement les VTR retenues et dûment justifiées selon les recommandations préconisées à l'**Annexe B7** ; l'expert veillera tout particulièrement aux unités de celles-ci :
  - pour les effets à seuil, la  $VTR_{or}$  est exprimée en  $mg/kg_{p.c}/jour$  et la  $VTR_{inh}$  en  $mg/m^3$  ;
  - pour les effets « sans seuil », les VT sont exprimées soit en  $mg/kg_{p.c}/jour$  ( $VT_{or}$ ) et en  $mg/m^3$  ( $VT_{inh}$ ) correspondant à un Risque Additionnel de Cancer de  $1.10^{-5}$ .
- sélection de l'usage à retenir ; une fois l'usage sélectionné, les voies d'exposition considérées par défaut - et pour lesquelles les doses d'exposition doivent être introduites manuellement - apparaissent clairement ; l'outil offre également la possibilité à l'expert de définir son propre scénario d'exposition ;
- transcrire manuellement la concentration en polluant dans le sol [en  $mg/kg$ ] ou dans les eaux souterraines [ $\mu g/L$ ] pour laquelle les doses ont été calculées par le biais de RISC Human<sup>®</sup> v. 3.3 ;
- transcrire manuellement les doses d'exposition pour chaque cible pertinente (enfant et/ou adulte) pour les effets « à seuil » ; les doses correspondant aux effets « sans seuil » sont calculées automatiquement par l'outil (selon la procédure présentée au § 2.9).

L'outil fournit, pour chacune des cibles pertinentes retenues, les Indices de Risque (IR), pour les effets « à seuil » et pour les effets « sans seuil »<sup>63</sup>. Si une cible n'est pas retenue pour un scénario (par exemple, l'enfant pour un scénario industriel), les IR relatifs aux effets « à seuil » et « sans seuil » ne seront calculés que pour la cible adulte.

Il est recommandé de transcrire l'ensemble des résultats dans un tableau similaire à celui présenté *supra* (Figure 11), facilitant grandement la phase d'interprétation (**étape 5**).

Etant donné que l'outil *Pollution\_Analysis\_Tool.xlsm* ne permet pas (encore) de calculer les Indices de Risques Globaux (IRG) pour les polluants non normés, l'expert procèdera à son calcul manuellement à partir des IR calculés par *Calc\_IR\_RISC-Human.xlsm* et des Indices De Risque-Intervention (IR-I) retenus pour le polluant non normé (**étape 2**).

---

<sup>63</sup> Les **Excès de Risque Individuels** (ERI) sont cependant donnés – à titre d'information – dans le tableur de type Excel *Calc\_IR\_RISC-Human*.

		<p>1. Choix de la famille du polluant : métaux lourds ou organiques</p> <p>2. Choix du polluant ; s'il s'agit d'un polluant non normé, il sera demandé d'introduire les VTR<sup>1</sup></p> <p>3. Choix du type d'usage</p> <p>4. Sélection automatique des voies d'exposition en fonction de l'usage</p>		<p><b>METAUX_LOURDS</b></p> <p><b>CADMIUM</b></p> <p><b>Type IIIb</b></p> <p>Usage résidentiel sans potager</p>	<p>Concentration introduite dans RISC-HUMAN</p> <p>10 mg/kg</p> <p>Type IIIb</p> <p>Usage résidentiel sans potager</p>	<p>5a. Transcription manuelle de la concentration dans le sol introduite dans l'onglet "Measurements" de RISC Human<sup>®</sup> OU</p> <p>5b. Transcription manuelle de la concentration dans l'eau souterraine introduite dans l'onglet "Measurements" de RISC Human<sup>®</sup></p>
<b>Substance non cancérigène A SEUIL</b>		enfant (indice c)	adulte (indice a)	enfant (indice c)	adulte (indice a)	<p>6. Transcription des doses d'exposition calculées pas RISC Human<sup>®</sup> pour la cible correspondante</p> <p>7. Calcul automatique - si pertinent - des indices de risques pour la voie orale et/ou inhalatoire (effets à seuil)</p>
Inhalation air intérieur (Iv)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Inhalation air extérieur (Ivo)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Inhalation sol et poussières (IP)	mg/kg.jr	0,00E+00	0,00E+00	1,75E-07	8,22E-08	
Inhalation vapeurs douche (Ivw)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Contact dermique sol (DA)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Contact dermique eau douche (DAw)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de sol (DI)	mg/kg.jr	0,00E+00	0,00E+00	1,33E-04	1,43E-05	
Ingestion d'eau (Dw)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de légumes (VI)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de céréales (CI) (non considérée directement dans RISC-HUMAN)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de viande (MIme)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de lait (MIml)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion d'œufs (MIeggs) (non considérée dans RISC-HUMAN)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Valeur toxicologique de référence - VTRor	mg/kg.jr	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	
VTRinh convertie en unité de dose pour l'enfant ET/OU VTRinh-c /adulte VTRinh-a	mg/kg.jr	2,56E-06	1,42E-06	2,56E-06	1,42E-06	
Indice de risque - IRor	-	0,00E+00	0,00E+00	1,33E-01	1,43E-02	
Indice de risque - IRinh	-	0,00E+00	0,00E+00	6,84E-02	5,78E-02	
		<p><b>CADMIUM</b></p> <p><b>Type IIIb</b></p> <p>Usage résidentiel sans potager</p>		<p><b>Type IIIb</b></p> <p>Usage résidentiel sans potager</p>		<p>8. Calcul automatique des doses pour une exposition "vie entière". ATTENTION : Si, pour un scénario personnalisé, la cible choisie est "Autre", il appartient à l'utilisateur d'effectuer le calcul de la dose d'exposition correspondant à une "vie entière"</p> <p>9. Calcul automatique - si pertinent - des indices de risques pour la voie orale et/ou inhalatoire (effets sans seuil)</p>
<b>Substance cancérigène SANS SEUIL</b>		vie entière		vie entière		
Inhalation air intérieur (Iv)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Inhalation air extérieur (Ivo)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Inhalation sol et poussières (IP)	mg/kg.jr	0,00E+00	-	9,02E-08	-	
Inhalation vapeurs douche (Ivw)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Contact dermique sol (DA)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Contact dermique eau douche (DAw)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de sol (DI)	mg/kg.jr	0,00E+00	-	2,45E-05	-	
Ingestion d'eau (Dw)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de légumes (VI)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de céréales (CI) (non considérée directement dans RISC-HUMAN)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de viande (MIme)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion de lait (MIml)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Ingestion d'œufs (MIeggs) (non considérée dans RISC-HUMAN)	mg/kg.jr	-	-	-	-	
Valeur toxicologique de référence - VTRor (correspondant à un risque additionnel de cancer de 1.10-5)	mg/kg.jr	0,00E+00	-	0,00E+00	-	
VTRinh convertie en unité de dose pour la cible considérée (vie entière ou adulte) - VTRinh-c (correspondant à un risque additionnel de cancer de 1.10-5)	mg/kg.jr	0,00E+00	-	0,00E+00	-	
Indice de risque - IRor	-	-	IRor non pertinent	-	IRor non pertinent	
Indice de risque - IRinh	-	-	IRinh non pertinent	-	IRinh non pertinent	
Excès de Risque Individuel - voie orale (ERor)*	-	-	-	-	-	
Excès de Risque Individuel - voie inhalatoire (ERinh)*	-	-	-	-	-	

\* donnés à titre d'information

<sup>1</sup> Si l'utilisateur sélectionne « Annuler » par erreur, il doit alors re-sélectionner un polluant quelconque puis le « polluant non normé » pour ré-initier la procédure.

Choix à effectuer  
calcul réalisé automatiquement

Figure 13 – Illustration de la caractérisation des risques à l'aide du tableur de type Excel (usage résidentiel sans jardin potager avec une concentration de 10 mg/kg de cadmium).

#### 4.3.2.5 Etape 5 : Interprétation des résultats, conclusions et recommandations

L'interprétation des résultats constitue la cinquième étape de l'EDR-SH.

Les résultats seront interprétés par référence à la méthodologie générale pour la réalisation des EDR, décrite dans la partie A du guide. L'interprétation est expliquée ci-dessous et schématisée par les Figure 14 et Figure 15.

L'interprétation des résultats porte sur :

- l'analyse des incertitudes (cf. section 4.3.2.5.1) ;
- l'acquisition des données complémentaires et la répétition / consolidation des étapes 1 à 5 (cf. 4.3.2.5.2) ;
- la détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et l'attribution d'une plage associée au niveau de risque (cf. section 4.3.2.5.3)
- l'établissement des conclusions opérationnelles au terme de l'EDR-SH (cf. section 4.3.2.6).

##### 4.3.2.5.1 Analyse des incertitudes

Les résultats quantitatifs de l'EDR-SH ne sont pas des mesures exactes du risque réel, en raison des incertitudes rencontrées tout au long du processus d'évaluation.

Une analyse de ces incertitudes permet de :

- mettre en perspective les résultats obtenus de manière à mieux informer la prise de décision ;
- mettre en évidence les points de l'EDR-SH où un effort supplémentaire dans l'acquisition de données et/ou dans la modélisation pourrait réduire de façon substantielle l'incertitude entourant le résultat.

Il est recommandé de procéder à une analyse qualitative des incertitudes pour toutes les études ; la réalisation d'une analyse quantitative des incertitudes étant laissée à l'appréciation de l'expert en fonction des enjeux de l'étude de risque.

Le tableau ci-dessous liste les incertitudes associées aux différentes étapes de l'évaluation détaillée des risques.

**Tableau 11 – Incertitudes liées aux évaluations des risques pour la santé humaine**

ETAPE	Donnée concernée	Type d'incertitude
ETAPE 1	Analyses de sols, d'eaux souterraines et autres milieux	Incertitude liée à la méthode de prélèvement et d'analyse. Par exemple, échantillon remanié ou non, conduisant à une perte plus ou moins élevée des composés volatils.
ETAPE 2	VTR	Facteurs d'incertitude utilisés dans le cadre de l'élaboration des VTR (Bonvallot & Dor, 2002) : ➔ variabilité inter-individuelle (extrapolation d'une valeur établie pour la population générale à une population sensible), facteur d'incertitude égal à 10 ; ➔ variabilité inter-espèces (extrapolation des données de l'animal à l'homme), facteur d'incertitude égal à 10 ; ➔ extrapolation des études réalisées à moyen terme pour établir une

ETAPE	Donnée concernée	Type d'incertitude
		VTR « vie entière », facteur d'incertitude égal à 10 ; ➔ incertitude liée à une VTR basée sur un LOAEL <sup>64</sup> plutôt qu'un NOAEL <sup>65</sup> , facteur d'incertitude compris entre 3 et 10.
ETAPE 3	Calcul des doses d'exposition	Paramètres retenus pour la modélisation selon une approche précautionneuse (paramètres du sol, paramètres physico-chimiques des polluants, quantité de sol et de légumes ingérés, temps passé à l'intérieur/extérieur...) : ➔ surestimation de l'exposition calculée
	Modèles de transfert	Les équations utilisées pour estimer les doses se basent sur des représentations plus ou moins simplifiées des mécanismes de transfert qui ne représentent pas toujours les phénomènes réels, ajoutant une incertitude supplémentaire sur les estimations de risques.
ETAPE 4	Caractérisation des risques	Calcul basé sur les données sélectionnées dans l'étape 1, sur la base des équations de l'étape 3 et en comparant les résultats aux valeurs sélectionnées dans l'étape 2 ➔ incertitudes cumulées lors de ces trois étapes.

S'agissant de l'évaluation qualitative des incertitudes, celle-ci peut prendre la forme d'un tableau dans lequel les hypothèses prises tout au long de l'évaluation des risques et leur influence sur l'étude sont rappelées (Tableau 12). L'évaluation qualitative permet une première appréciation du degré de conservatisme de l'étude résultant des principes de précaution et de proportionnalité, et des paramètres les plus sensibles.

**Tableau 12 – Illustration en vue d'évaluer l'influence des hypothèses retenues pour l'évaluation des risques pour la santé humaine.**

Paramètre	Hypothèse retenue	Influence sur les résultats des calculs de risque
Campagnes de mesures dans les sols*	X analyses d'échantillons de sol analysés lors des études d'orientation et de caractérisation sur une surface de Y m <sup>2</sup>	Réaliste
Campagnes de mesures dans les eaux*	X piézomètres eau installés et Y campagnes de mesures lors des études d'orientation et de caractérisation sur une surface de Z m <sup>2</sup>	Réaliste
Concentrations dans les sols	Valeurs maximales mesurées	Surestimation
Concentrations dans les sols	Limites de quantification de bonne qualité et non retenues	Réaliste
Concentrations dans les eaux	valeurs maximales mesurées	Surestimation
Données relatives au bâti	Paramètres standards retenus (bâtiment de 10 m x 5 m, avec un vide ventilé d'une hauteur de 0,8 m)	Surestimation
Données sur les milieux sol et eau (type de sol, profondeur)	Paramètres standards retenus (granulométrie, foc...)	Surestimation
Modèles de transfert des vapeurs	Modèle RISC Human <sup>®</sup> v. 3.3	Surestimation <i>généralement</i> (source de pollution infinie, équilibre immédiat...)
Biodisponibilité/bioaccessibilité	Non prise en compte dans l'EDR-SH	Surestimation

\* Ces critères relèvent des investigations d'orientation et de caractérisation et doivent donc être évalués par le gestionnaire de l'étude de caractérisation.

<sup>64</sup> LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect Level.

<sup>65</sup> NOAEL : No Observed Adverse Effect Level.

Si l'expert s'oriente vers une évaluation quantitative des incertitudes, il identifiera au cours de cette évaluation les paramètres incertains et les paramètres potentiellement sensibles :

- un paramètre sensible est un paramètre dont la variation conduit à une forte variation du risque calculé ;
- un paramètre incertain a généralement fait l'objet d'une réflexion puis d'une décision sans certitude, selon le principe de précaution.

L'expert pourra examiner l'impact de leur variation, dans une fourchette de valeurs vraisemblables, sur les résultats de l'évaluation détaillée des risques et quantifier ainsi l'écart obtenu sur le risque calculé.

Quelques exemples impliquant des paramètres sensibles et/ou typiquement incertains sont fournis à titre d'illustration ci-dessous (voir encadré).

**Quelques exemples impliquant des paramètres sensibles et/ou typiquement incertains**

*Exemple 1 :*

*Les paramètres de teneur en eau et de teneur en air ont été sélectionnés dans le modèle de transfert en fonction du type de sol observé lors de campagnes de prélèvements mais ces observations ne sont pas représentatives de l'ensemble du site. Il est intéressant de faire varier ces paramètres pour un autre type de sol également observé sur le site afin d'évaluer l'impact sur le risque calculé.*

*Exemple 2 (inhalation d'air intérieur) :*

*Le taux de renouvellement du sous-sol a été choisi par défaut dans l'étude initiale. Cependant, le projet d'aménagement prévoit un parking souterrain. Il serait donc pertinent de recalculer le risque en considérant la ventilation mécanique forcée du parking, obligatoire en Belgique.*

*Exemple 3 (inhalation d'air intérieur) :*

*Le taux de matière organique (foc) est un paramètre sensible dans la modélisation des transferts de vapeurs pour les polluants organiques. Une évaluation de son impact sur les résultats dans une gamme de valeurs vraisemblables pourrait donc révéler qu'en fonction de la valeur retenue pour ce paramètre, il y a présence ou absence de « menace grave ». Cette conclusion pourrait justifier les investigations visant à préciser sa mesure sur le terrain.*

*Exemple 4 (ingestion de légumes) :*

*Le BCF est un paramètre sensible dans la modélisation des transferts dans les légumes. S'il a été retenu par défaut dans l'étude initiale, l'expert pourrait examiner son impact sur les résultats et décider s'il est utile de réaliser une étude bibliographique détaillée ou des tests sur site en vue de préciser la valeur de ce paramètre.*

#### 4.3.2.5.2 Acquisition de données complémentaires et répétition / consolidation des Etapes 1 à 5

Sur la base de l'interprétation des résultats, l'expert peut, après avoir approfondi certains paramètres du MCS et après avoir éventuellement réalisé des investigations complémentaires, retourner à l'**étape 3** (processus itératif).

Par exemple, l'expert veillera à confronter les concentrations compartimentales estimées dans la viande, le lait, les légumes, l'eau de boisson, et éventuellement dans le poisson aux valeurs

réglementaires en vigueur. L'expert pourra également procéder à des mesures directes dans le compartiment visé, introduire ces mesures dans RISC Human<sup>®</sup> v3.3 et reprendre la méthodologie de l'EDR-SH à l'étape 3.

#### 4.3.2.5.3 Détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et attribution d'une plage associée au niveau de risque

##### 4.3.2.5.3.1 Approche générale

La détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et l'attribution d'une plage associée au niveau de risque sont fondées sur l'interprétation des Indices de Risque calculés à l'étape 4 (Figure 14 et Tableau 13).

De façon tout à fait générale, un IR inférieur ou égal à 1 signifie que les doses d'exposition<sup>66</sup> susceptibles d'être encourues par le récepteur considéré – compte tenu du scénario d'exposition et des valeurs attribuées aux paramètres – sont inférieures aux valeurs toxicologiques (de référence) retenues dans le cadre de l'EDR-SH (cf. section 2.11). Les risques relèvent dans ce cas du domaine des risques acceptables<sup>67</sup>, qui correspond à la plage verte du Modèle des Feux de Signalisation (MFS, cf. Partie A, section 3.7.2).

Un IR supérieur à 1 signifiera que les doses d'exposition sont supérieures aux valeurs toxicologiques (de référence) retenues dans le cadre de l'EDR-SH. Selon la grandeur des dépassements (et d'autres critères relevant des interactions possibles entre polluants qui sont détaillés ci-dessous) les risques relèveront finalement :

- soit du domaine des risques intermédiaires (plage orange du MFS) : dans ce cas ils pourront être valablement gérés par la mise en œuvre de mesures de sécurité (éventuellement assorties de mesures de suivi) ;
- soit du domaine des risques inacceptables (plage rouge du MFS, correspondant à la « menace grave ») : dans ce cas ils devront être réduits par la mise en œuvre des travaux d'assainissement nécessaires (cf. section 4.3.2.6 pour la définition des objectifs minimum d'assainissement).

L'interprétation des IR s'effectue distinctement :

- pour les polluants mixtes présentant des effets « à seuil » pour une des voies d'administration et des effets « sans seuil » pour l'autre voie d'administration ;
- et les polluants non mixtes présentant pour l'ensemble des voies d'administration considérées
  - soit exclusivement des effets « à seuil »,
  - soit exclusivement des effets « sans seuil ».

<sup>66</sup> Soit considérées séparément pour chacune des voies d'administration (voie orale et contact cutané ; voie par inhalation) dans le cas de polluants mixtes ou de façon agrégée dans le cas de polluants non mixtes.

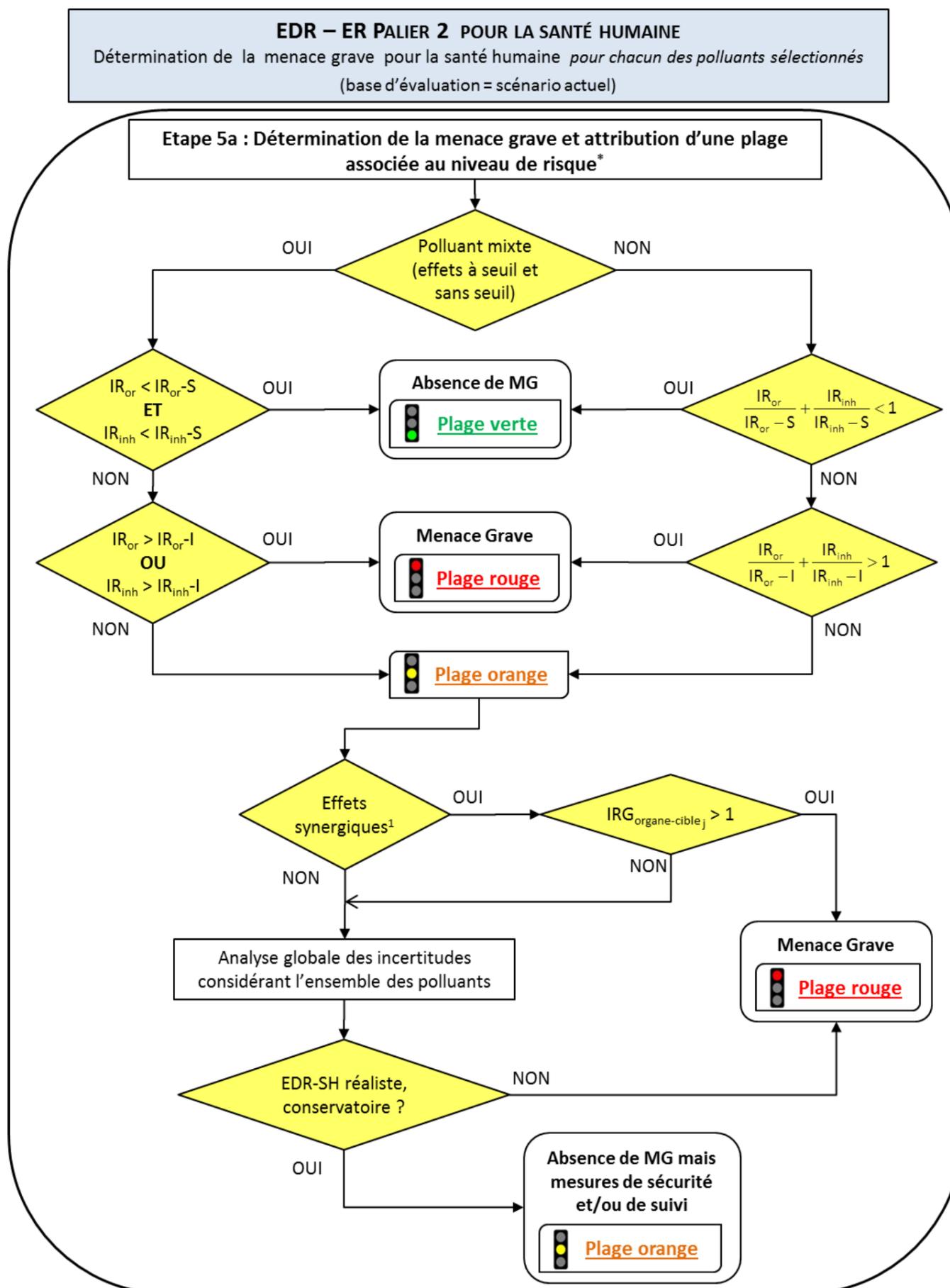
<sup>67</sup> Pour rappel, la terminologie de « risque acceptable » doit être entendue comme « absence de risque d'exposition (pour les polluants à effets « à seuil ») ou risque additionnel de cancer inférieur à  $1.10^{-5}$  (pour les polluants à effets « sans seuil »)».

Les critères de comparaison requis pour la détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et l'attribution d'une plage associée au niveau de risque au terme de l'EDR-SH sont synthétisés au Tableau 13.

**Tableau 13 – Critères de comparaison et paramètres de calcul des Indices de Risque (IR) et des Indices de Risque Globaux (IRG, cf. § 2.15)**

	Type de calcul	Type de polluant	Critère(s) de 1 <sup>er</sup> niveau	Critère(s) de 2 <sup>ème</sup> niveau
<b>Polluant seul</b> <sup>(1)</sup>	IR	mixte	$IR_{or} \gg IR_{or-S}$ $IR_{inh} \gg IR_{inh-S}$ avec $IR_{voie\ k-S} = 1 \forall k$	$IR_{or} \gg IR_{or-I}$ $IR_{inh} \gg IR_{inh-I}$ avec $IR_{voie\ k-I} = \{2,5,10\}$ , cf. Tableau 3
		non mixte	$\frac{IR_{or}}{IR_{or-S}} + \frac{IR_{inh}}{IR_{inh-S}} \gg 1$ avec $IR_{voie\ k-S} = 1 \forall k$	$\frac{IR_{or}}{IR_{or-I}} + \frac{IR_{inh}}{IR_{inh-I}} \gg 1$ avec $IR_{voie\ k-I} = \{2,5,10\}$ , cf. Tableau 3
<b>Mélange de polluants</b>	IRG	tous	$IRG_{organe-cible\ j,\ cible} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{IR_{or}}{IR_{or-I}} \right)_i + \sum_{i=1}^m \left( \frac{IR_{inh}}{IR_{inh-I}} \right)_i$ avec $IR_{voie\ k-I} = \{2,5,10\}$ , cf. Tableau 3 n polluants agissant par la voie orale sur l'organe-cible j m polluants agissant par inhalation sur l'organe-cible j	

(1) excepté pour le mercure total et les hydrocarbures pétroliers



\* Pour tous les polluants à l'exception des hydrocarbures pétroliers, pour lesquels l'expert se référera au logigramme spécifique

<sup>1</sup> Par référence à l'Annexe B6 : plusieurs polluants (y compris les hydrocarbures pétroliers) présentent-ils le même type d'effets (cancer) ou agissent-ils sur le même organe-cible ?

IR<sub>or</sub> = Indice de Risque calculé pour la voie orale

IR<sub>inh</sub> = Indice de Risque calculé pour la voie inhalatoire

IR<sub>or</sub>-S = Indice de Risque Seuil pour la voie orale (=1)

IR<sub>inh</sub>-S = Indice de Risque Seuil pour la voie inhalatoire (=1)

IR<sub>or</sub>-I = Indice de Risque d'Intervention pour la voie orale

IR<sub>inh</sub>-I = Indice de Risque d'Intervention pour la voie inhalatoire

MG = Menace Grave

IRG<sub>organe-cible j</sub> = Indice de Risque Global pour l'organe-cible j

EDR-SH = Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine

Figure 14 – Logigramme décisionnel pour la détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et l'attribution d'une plage associée au niveau de risque au terme de l'EDR-SH

Il sera conclu à l'absence de « menace grave » (**plage verte**) si

- pour chaque polluant mixte identifié, l'indice de risque associé à chacune des voies d'administration pour toute cible pertinente est inférieur à l'Indice de Risque Seuil pour la voie considérée ( $IR_{or-S}$  ;  $IR_{inh-S}$ ) :

- pour les effets « à seuil » :
  - pour la voie orale (et contact cutané) :

$$IR_{or,a} < IR_{or-S} \text{ (adulte)} ; IR_{or,c} < IR_{or-S} \text{ (enfant)}$$

OU

- pour la voie par inhalation :

$$IR_{inh,a} < IR_{inh-S} \text{ (adulte)} ; IR_{inh,c} < IR_{inh-S} \text{ (enfant)}$$

- **ET** pour les effets « sans seuil » :
  - pour la voie orale (et contact cutané) :  $IR_{or,vie\ entière} < IR_{or-S}$  (vie entière)

OU

- pour la voie par inhalation:  $IR_{inh,vie\ entière} < IR_{inh-S}$  (vie entière)

- pour chaque polluant identifié présentant pour l'ensemble des voies d'administration considérées soit exclusivement des effets « à seuil », soit exclusivement des « effets sans seuil » (polluant non mixte), la somme<sup>68</sup> des indices de risque associés à chacune des voies d'administration pondérés par l'Indice de Risque Seuil pour la voie correspondante ( $IR_{or-S}$  ;  $IR_{inh-S}$ ) est inférieure à 1 :

- pour les effets « à seuil »<sup>69</sup>:

$$\frac{IR_{or,a}}{IR_{or-S}} + \frac{IR_{inh,a}}{IR_{inh-S}} < 1 \text{ (adulte)} ; \frac{IR_{or,c}}{IR_{or-S}} + \frac{IR_{inh,c}}{IR_{inh-S}} < 1 \text{ (enfant)}$$

- **OU** pour les effets « sans seuil » :

$$\frac{IR_{or,vie\ entière}}{IR_{or-S}} + \frac{IR_{inh,vie\ entière}}{IR_{inh-S}} < 1 \text{ (vie entière)} ;$$

Il sera conclu à l'existence d'une « menace grave » (**plage rouge**) si

- pour chaque polluant mixte identifié, l'indice de risque associé à une des voies d'administration pour une des cibles pertinentes est supérieur à l'Indice de Risque d'Intervention pour la voie considérée ( $IR_{or-I}$  ;  $IR_{inh-I}$  spécifiés au Tableau 3):

- pour les effets « à seuil » :

<sup>68</sup> Selon l'hypothèse d'additivité des voies d'administration, cf. section 2.14.2.

<sup>69</sup> L'Indice de Risque Seuil ( $IR-S$ ) pour chaque **voie d'administration** étant égal à 1, ceci revient à considérer la somme de l'indice de risque par inhalation ( $IR_{inh}$ ) et de l'indice de risque par ingestion ( $IR_{or}$ ) (approche précautionneuse). Il est cependant proposé de maintenir cette notation afin d'être cohérent par rapport aux critères permettant de se prononcer sur l'existence d'une « menace grave » (plage rouge).

- pour la voie orale (et contact cutané) :

$$IR_{or,a} > IR_{or-I} \text{ (adulte)} ; IR_{or,c} > IR_{or-I} \text{ (enfant)}$$

OU

- pour la voie par inhalation :

$$IR_{inh,a} > IR_{inh-I} \text{ (adulte)} ; IR_{inh,c} > IR_{inh-I} \text{ (enfant)}$$

- **OU** pour les effets « sans seuil » :

- pour la voie orale (et contact cutané) :  $IR_{or,vie\ entière} > IR_{or-I}$  (vie entière)

OU

- pour la voie par inhalation:  $IR_{inh,vie\ entière} > IR_{inh-I}$  (vie entière)

- pour chaque polluant identifié présentant pour l'ensemble des voies d'administration considérées soit exclusivement des effets « à seuil », soit exclusivement des « effets sans seuil » (polluant non mixte), la somme<sup>69</sup> des indices de risque associés à chacune des voies d'administration pondérés par l'Indice de Risque d'Intervention pour la voie correspondante ( $IR_{or-I}$  ;  $IR_{inh-I}$  spécifiés au Tableau 3) est supérieure à 1 :

- pour les effets « à seuil » :

$$\frac{IR_{or,a}}{IR_{or-I}} + \frac{IR_{inh,a}}{IR_{inh-I}} > 1 \text{ (adulte)} ; \frac{IR_{or,c}}{IR_{or-I}} + \frac{IR_{inh,c}}{IR_{inh-I}} > 1 \text{ (enfant)}$$

- **OU** pour les effets « sans seuil » :

$$\frac{IR_{or,vie\ entière}}{IR_{or-I}} + \frac{IR_{inh,vie\ entière}}{IR_{inh-I}} > 1 \text{ (vie entière)} ;$$

Dans l'hypothèse où l'interprétation des indices de risque ne permet pas encore de conclure à l'absence de « menace grave » (plage verte) ou à l'existence d'une « menace grave » (plage rouge), on est dans la **plage orange**.

Dans la plage orange, il pourra être conclu :

- à l'existence d'une « menace grave » (**plage rouge**) si alternativement :
  - les polluants retenus<sup>70</sup> sont susceptibles d'avoir des effets synergiques et que l'Indice de Risque Global pour un organe-cible ( $IR_{organe-cible\ j}$  calculé à l'**Annexe B6**) et pour une des cibles pertinentes (enfant, adulte ou vie entière) est supérieur à 1 ;
  - il peut être démontré par une analyse globale des incertitudes que l'EDR-SH est potentiellement non conservatoire ; ces incertitudes sont évaluées en suivant les lignes directrices fournies à la section 4.3.2.5.1 ;

<sup>70</sup> Les polluants à considérer pour l'évaluation des effets synergiques sont ceux qui respectent le critère de comparaison de 2<sup>ème</sup> niveau mais qui ne respectent pas le critère de comparaison de 1<sup>er</sup> niveau pour au moins une cible (enfant, adulte ou vie entière). Il est recommandé de se référer à l'Annexe B6 pour les cas particuliers du mercure total et des hydrocarbures pétroliers.

- à l'absence de « menace grave » mais à la nécessité d'imposer des mesures de sécurité et/ou de suivi si conjointement
  - les polluants retenus sont susceptibles d'avoir des effets synergiques mais que l'Indice de Risque Global pour tout organe-cible ( $IR_{G_{organe-cible\ j}}$  calculé à l'Annexe B6) et pour toutes les cibles pertinentes (enfant, adulte ou vie entière) est inférieur à 1, ou si les polluants identifiés ne sont pas susceptibles d'avoir des effets synergiques ;
  - il peut être démontré par une analyse globale des incertitudes que l'EDR-SH est réaliste et conservatoire (cf. section 4.3.2.5.1).

**4.3.2.5.3.2 Détermination de la « menace grave » pour la santé humaine dans le cas particulier du mercure total**

Dans le cas particulier du mercure, la détermination de la « menace grave » et l'attribution d'une plage associée au niveau de risque sont fondées sur l'utilisation des critères de comparaison synthétisés au Tableau 14.

**Tableau 14 – Critères de comparaison pour la détermination de la « menace grave » pour le mercure total (polluant « non mixte »)**

Critère de comparaison	
<b>Mercure total</b>	<b>Critère de 1<sup>er</sup> niveau</b>
	$\left( \frac{IR_{or}}{IR_{or} - S} + \frac{IR_{inh}}{IR_{inh} - S} \right)_{HgCl_2} + \left( \frac{IR_{or}}{IR_{or} - S} \right)_{MMM} \ll 1$ <p>avec <math>IR_{voie\ k} - S = 1 \forall k</math></p>
	<b>Critère de 2<sup>ème</sup> niveau</b>
	$\left( \frac{IR_{or}}{IR_{or} - I} + \frac{IR_{inh}}{IR_{inh} - I} \right)_{HgCl_2} + \left( \frac{IR_{or}}{IR_{or} - I} \right)_{MMM} \ll 1$ <p>avec <math>IR_{voie\ k} - I = \{2,5,10\}</math>, cf. Tableau 3</p>

Il sera conclu à l'absence de « menace grave » (**plage verte**) si la somme<sup>71</sup> des indices de risque associés à chacune des voies d'administration et à chacune des formes chimiques pondérés par l'Indice de Risque Seuil pour la voie correspondante ( $IR_{or}-S$  ;  $IR_{inh}-S$ ) est inférieure à 1 ; ce critère de premier niveau doit être respecté pour chacune des cibles pertinentes :

- pour l'adulte :

$$\left( \frac{IR_{or,a}}{IR_{or} - S} + \frac{IR_{inh,a}}{IR_{inh} - S} \right)_{HgCl_2} + \left( \frac{IR_{or,a}}{IR_{or} - S} \right)_{MMM} < 1$$

<sup>71</sup> Selon l'hypothèse d'additivité des voies d'administration (cf. section 2.14.2) et des formes chimiques. Cette approche est cohérente avec la méthodologie d'établissement des  $VS_H$  et  $VI_H$  (cf. Annexe B8, § B8-2.4.2).



- **ET** pour l'enfant :

$$\left( \frac{IR_{or,c}}{IR_{or}-S} + \frac{IR_{inh,c}}{IR_{inh}-S} \right)_{HgCl_2} + \left( \frac{IR_{or,c}}{IR_{or}-S} \right)_{MMM} < 1$$

Il sera conclu à l'existence d'une « menace grave » (**plage rouge**) si la somme des indices de risque associés à chacune des voies d'administration et à chacune des formes chimiques pondérés par l'Indice de Risque d'Intervention pour la voie correspondante ( $IR_{or-I}$  ;  $IR_{inh-I}$  spécifiés au Tableau 3) est supérieure à 1 pour une des cibles pertinentes :

- pour l'adulte :

$$\left( \frac{IR_{or,a}}{IR_{or}-I} + \frac{IR_{inh,a}}{IR_{inh}-I} \right)_{HgCl_2} + \left( \frac{IR_{or,a}}{IR_{or}-I} \right)_{MMM} > 1$$

- **OU** pour l'enfant :

$$\left( \frac{IR_{or,c}}{IR_{or}-I} + \frac{IR_{inh,c}}{IR_{inh}-I} \right)_{HgCl_2} + \left( \frac{IR_{or,c}}{IR_{or}-I} \right)_{MMM} > 1$$

Dans l'hypothèse où l'interprétation des indices de risque ne permet pas encore de conclure à l'absence de « menace grave » (plage verte) ou à l'existence d'une « menace grave » (plage rouge), on est dans la **plage orange**.

Pour l'évaluation des effets synergiques et le calcul de l'IRG, l'expert se référera aux règles décrites à l'**Annexe B6** pour le mercure total.

Les conclusions énoncées *supra* (cf. 4.3.2.5.3) restent d'application pour le mercure.

#### 4.3.2.5.3.3 Détermination de la « menace grave » pour la santé humaine dans le cas particulier des hydrocarbures pétroliers

Dans le cas particulier des hydrocarbures pétroliers, la détermination de la « menace grave » et l'attribution d'une plage associée au niveau de risque sont fondées sur l'utilisation des critères de comparaison à établir pour chacune des cibles pertinentes (enfant, adulte) synthétisés au Tableau 15 et à la Figure 15.

Deux cas de figure peuvent se présenter selon que l'expert dispose ou non de résultats issus d'un split aromatique/aliphatique. De façon générale,

- en l'absence d'un split aromatique/aliphatique, les conclusions en terme de « menace grave », s'établiront sur la somme des IR pondérés (par IR-S ou par IR-I selon le niveau du critère de comparaison) (en supposant l'additivité des voies d'administration (cf. section 2.14.2) et l'additivité des risques associés aux composés aromatique(s) et aliphatique(s) (non carcinogènes)<sup>72</sup> au sein de chaque fraction globale) ;
- en présence d'un split aromatique/aliphatique, les conclusions en terme de « menace grave » se prendront en considérant individuellement les fractions aromatiques et les fractions aliphatiques (en supposant l'additivité des voies d'administration) (cf. section 2.14.2).

Pour l'évaluation des effets synergiques et le calcul de l'IRG, l'expert se réfèrera aux règles décrites à l'**Annexe B6** pour les hydrocarbures pétroliers.

---

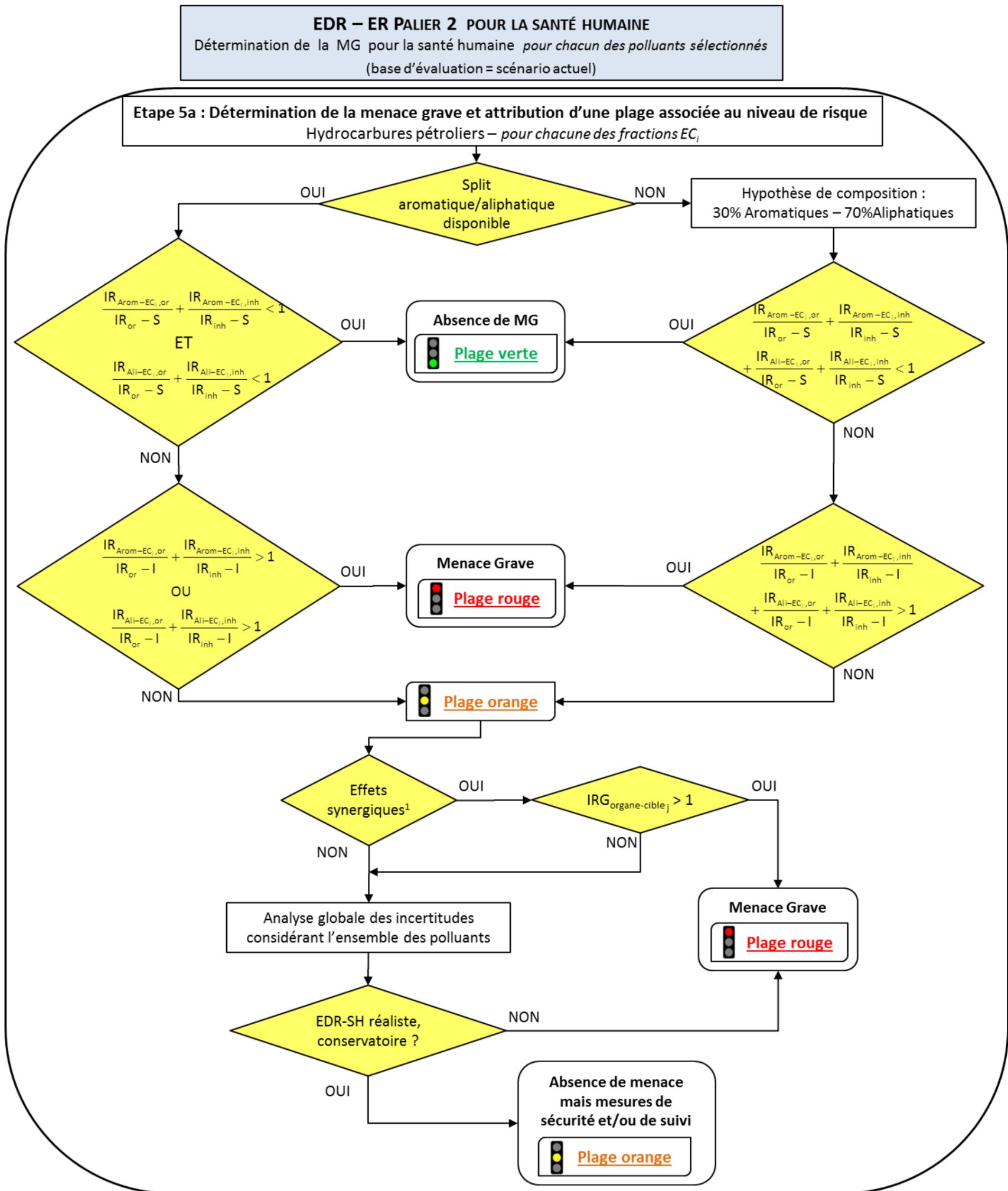
<sup>72</sup> Les avis sont partagés à ce sujet. Le MaDEP (*US State of Massachusetts Department of Environmental Protection Approach*), le TPHCWG, l'ADSTR, et le RIVM considèrent que l'additivité des effets qui pourraient affecter différents organes constitue une approche conservatrice. A l'inverse, l'OVAM (2004) et le *Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons in Soils (PHC CWS) Development Committee* n'acceptent pas l'hypothèse d'additivité des risques dès lors que les composés/fractions n'agissent pas sur un même organe ou selon le même mécanisme de toxicité.

**Tableau 15 – Critères de comparaison pour la détermination de la « menace grave » pour les hydrocarbures pétroliers (polluants « non mixtes ») en présence et en l'absence de résultats issus d'un split aromatique/aliphatique.**

	<b>Critère de comparaison</b>
<b>Split aromatique/aliphatique disponible<sup>(1)</sup></b>	<b>Critère(s) de 1<sup>er</sup> niveau</b>
	$\frac{IR_{Arom EC_i, or}}{IR_{or} - S} + \frac{IR_{Arom EC_i, inh}}{IR_{inh} - S} \gg 1$ $\frac{IR_{Ali EC_i, or}}{IR_{or} - S} + \frac{IR_{Ali EC_i, inh}}{IR_{inh} - S} \gg 1$ <p>avec <math>IR_{voies k} - S = 1 \forall k</math></p>
	<b>Critère(s) de 2<sup>ème</sup> niveau</b>
	$\frac{IR_{Arom EC_i, or}}{IR_{or} - I} + \frac{IR_{Arom EC_i, inh}}{IR_{inh} - I} \gg 1$ $\frac{IR_{Ali EC_i, or}}{IR_{or} - I} + \frac{IR_{Ali EC_i, inh}}{IR_{inh} - I} \gg 1$ <p>avec <math>IR_{voies k} - I = \{2,5,10\}</math>, cf. Tableau 3</p>
<b>Absence de split aromatique/aliphatique<sup>(2)</sup></b>	<b>Critère de 1<sup>er</sup> niveau</b>
	$\frac{IR_{Arom EC_i, or}}{IR_{or} - S} + \frac{IR_{Arom EC_i, inh}}{IR_{inh} - S} + \frac{IR_{Ali EC_i, or}}{IR_{or} - S} + \frac{IR_{Ali EC_i, inh}}{IR_{inh} - S} \gg 1$ <p>avec <math>IR_{voies k} - S = 1 \forall k</math></p>
	<b>Critère de 2<sup>ème</sup> niveau</b>
	$\frac{IR_{Arom EC_i, or}}{IR_{or} - I} + \frac{IR_{Arom EC_i, inh}}{IR_{inh} - I} + \frac{IR_{Ali EC_i, or}}{IR_{or} - I} + \frac{IR_{Ali EC_i, inh}}{IR_{inh} - I} \gg 1$ <p>avec <math>IR_{voies k} - I = \{2,5,10\}</math>, cf. Tableau 3</p>

(1) Selon l'hypothèse d'additivité des voies d'administration (cf. section 2.14.2).

(2) Selon l'hypothèse d'additivité des voies d'administration (cf. section 2.14.2) et l'additivité des risques associés aux composés aromatique(s) et aliphatique(s) (non carcinogènes) au sein de chaque fraction globale.



<sup>1</sup> Par référence à l'Annexe B6 : plusieurs polluants (fractions aromatiques, aliphatiques, ou autres polluants) présentent-ils le même type d'effets (cancer) ou agissent-ils sur le même organe-cible ?

Fraction EC<sub>i</sub> = Fraction d'hydrocarbures pétroliers exprimée en « équivalent carbone (EC) »

IR<sub>Arom-EC<sub>i</sub>,or</sub> = Indice de Risque calculé pour les composés aromatiques de la fraction EC<sub>i</sub>, pour la voie orale (et le contact cutané)

IR<sub>Ali-EC<sub>i</sub>,or</sub> = Indice de Risque calculé pour les composés aliphatiques de la fraction EC<sub>i</sub>, pour la voie orale (et le contact cutané)

IR<sub>Arom-EC<sub>i</sub>,inh</sub> = Indice de Risque calculé pour les composés aromatiques de la fraction EC<sub>i</sub>, pour la voie par inhalation

IR<sub>Ali-EC<sub>i</sub>,inh</sub> = Indice de Risque calculé pour les composés aliphatiques de la fraction EC<sub>i</sub>, pour la voie par inhalation

IR<sub>or-S</sub> = Indice de Risque Seuil pour la voie orale (=1)

IR<sub>inh-S</sub> = Indice de Risque Seuil pour la voie par inhalation (=1)

IR<sub>or-I</sub> = Indice de Risque d'Intervention pour la voie orale

IR<sub>inh-I</sub> = Indice de Risque d'Intervention pour la voie par inhalation

MG = Menace Grave

IR<sub>organe-cible<sub>j</sub></sub> = Indice de Risque Global pour l'organe-cible j

EDR-SH = Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine

**Figure 15 – Logigramme décisionnel pour la détermination de la « menace grave » pour la santé humaine et l'attribution d'une plage associée au niveau de risque au terme de l'EDR-SH pour les hydrocarbures pétroliers.**

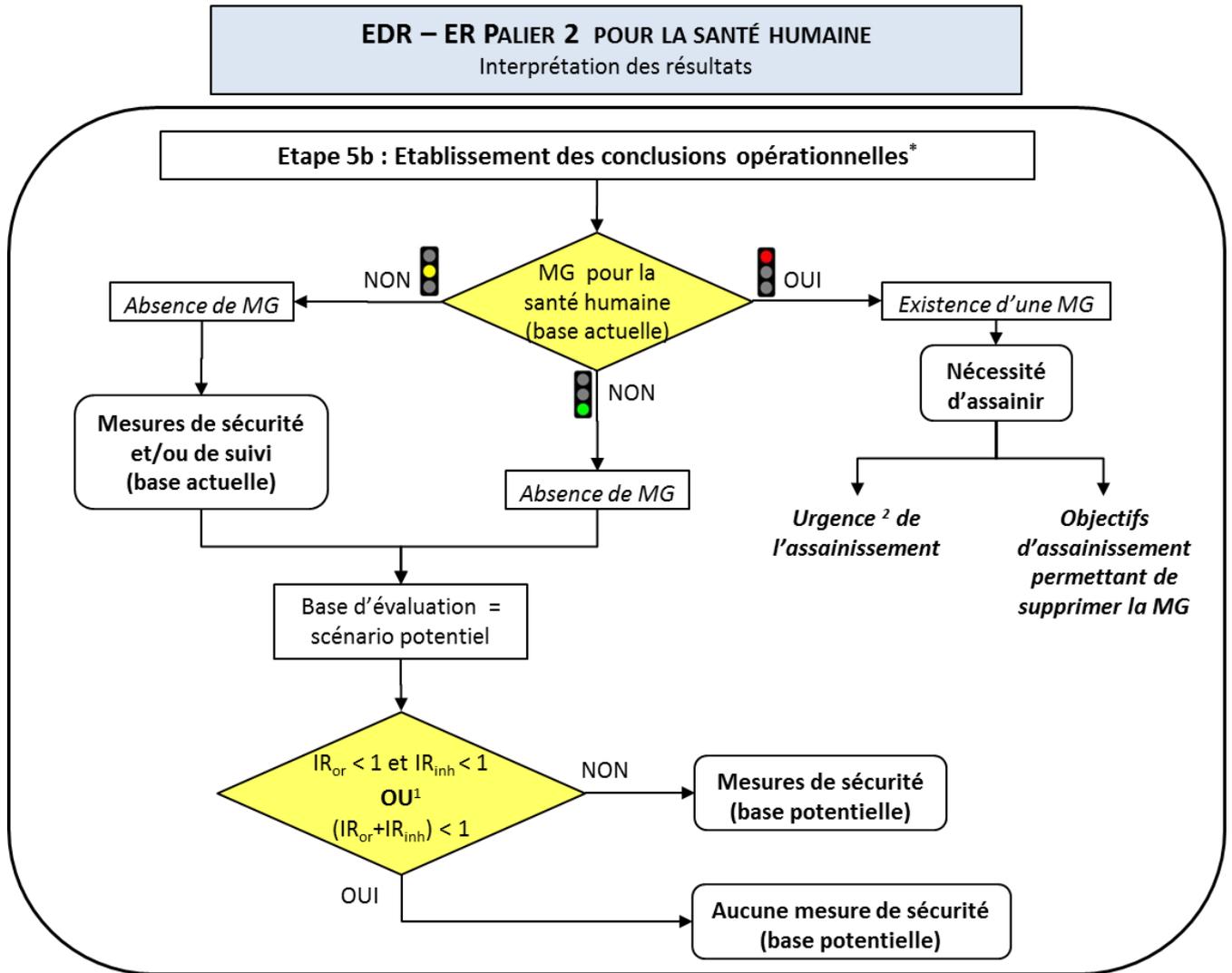
#### 4.3.2.5.4 Etablissement des conclusions opérationnelles

##### 4.3.2.5.4.1 Approche générale

Les conclusions opérationnelles vont dépendre des résultats de la détermination de la « menace grave » pour la santé humaine (cf. 4.3.2.5.3). Ainsi, il sera conclu (cf. Figure 16) :

- dans le cas de l'existence d'une « menace grave », à la nécessité d'assainir<sup>73</sup> (évaluation des risques sur une base actuelle) ; l'expert déterminera en outre :
  - l'urgence de l'assainissement en tenant compte des niveaux de risques observés (et à la présence de cibles sur le terrain au moment de l'étude) et les mesures de sécurité pour réduire ces risques en attendant l'assainissement,
  - les objectifs minimum d'assainissement permettant de supprimer la « menace grave » (cf. section 4.3.2.6) ;
  
- dans le cas d'absence de « menace grave » mais de nécessité d'imposer des mesures de sécurité et/ou de suivi, à la nécessité d'imposer des mesures de sécurité et/ou de suivi afin de couvrir les risques liés aux polluants pour lesquels l'interprétation des indices de risques évalués sur une base actuelle n'a pas encore permis d'écarter ou de confirmer la « menace grave » ; pour la fixation de ces mesures, l'expert pourra se référer aux principes fournis dans la partie A, section 5.6.2 ;
  
- dans le cas d'absence de « menace grave » sur une base actuelle – avec ou sans nécessité de mesures de sécurité et/ou de suivi,
  - à la nécessité d'imposer des mesures de sécurité et/ou de suivi pour couvrir les risques liés aux scénarios potentiels si les risques ne peuvent pas être exclus pour une base potentielle ; afin de se prononcer, l'expert évaluera pour chaque scénario d'exposition potentiel pertinent :
    - si, pour au moins un des polluants mixtes, l'indice de risque associé à l'une des voies d'administration pour une des cibles pertinentes est supérieur à 1 ;
    - ou si, pour au moins un des polluants présentant pour l'ensemble des voies d'administration considérées soit exclusivement des effets « à seuil », soit exclusivement des effets « sans seuil », la somme des indices de risques associés à chacune des voies d'administration est supérieure à 1 pour au moins une des cibles pertinentes ;
  - à l'absence d'action requise s'il n'y a pas de risques sur une base potentielle (cf. 4.3.2.1.3) ; afin de se prononcer, l'expert évaluera pour chaque scénario d'exposition potentiel pertinent :
    - si, pour chaque polluant mixte identifié, l'indice de risque associé à chacune des voies d'administration pour toute cible pertinente est inférieur à 1 ;
    - et si, pour chaque polluant identifié présentant pour l'ensemble des voies d'administration considérées soit exclusivement des effets « à seuil », soit exclusivement des effets « sans seuil », la somme des indices de risques associés à chacune des voies d'administration est inférieure à 1 pour l'ensemble des cibles pertinentes.

<sup>73</sup> Pour rappel, une règle administrative rend l'assainissement systématiquement nécessaire dès que les concentrations en hydrocarbures pétroliers dépassent le seuil de 20.000 mg/kg (cf. GRER, Partie A, §5.6.1.2).



\* Pour tous les polluants à l'exception des hydrocarbures pétroliers, pour lesquels l'expert se référera au logigramme spécifique

<sup>1</sup> Pour les polluants mixtes (présentant des effets à seuil et sans seuil, par référence à l'Annexe B6), les Indices de Risque sont considérés séparément pour chaque voie d'administration *i* (voie orale et contact cutané ; voie inhalatoire) ; pour les polluants présentant soit des « effets à seuil de dose », soit des « effets sans seuil de dose », c'est la somme des Indices de Risque obtenus pour les voies orale (et contact cutané) ( $IR_{or}$ ) et inhalatoire ( $IR_{inh}$ ) qui est considérée.

<sup>2</sup> L'urgence de l'assainissement sera déterminée par l'expert selon les niveaux de risques observés et la façon dont ils peuvent être gérés avec des mesures de sécurité et/ou de suivi à caractère conservatoire.

MG = Menace Grave

$IR_{or}$  = Indice de Risque calculé pour la voie orale (et contact cutané)

$IR_{inh}$  = Indice de Risque calculé pour la voie inhalatoire

EDR-SH = Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine

Figure 16 – Logigramme décisionnel pour la détermination des conclusions opérationnelles au terme de l'EDR-SH

#### **4.3.2.5.4.2 Etablissement des conclusions opérationnelles dans le cas particulier du mercure total**

La méthodologie décrite *supra* (cf. 4.3.2.5.4.1 et Figure 16) reste d'application pour le mercure total mais les critères de comparaison (de premier niveau) à retenir en vue d'établir la nécessité ou non d'imposer des mesures de sécurité sont ceux définis au Tableau 14.

#### **4.3.2.5.4.3 Etablissement des conclusions opérationnelles dans le cas particulier des hydrocarbures pétroliers**

La méthodologie décrite *supra* (cf. 4.3.2.5.4.1 et Figure 16) reste d'application pour hydrocarbures pétroliers mais les critères de comparaison (de premier niveau) à retenir en vue d'établir la nécessité ou non d'imposer des mesures de sécurité sont ceux définis au Tableau 15.

#### 4.3.2.6 Etape 6 : Globalisation des résultats et définition des objectifs minimum d'assainissement pour la santé humaine au stade de l'EDR

Les conclusions opérationnelles (*i.e.* la détermination de l'absence ou de l'existence d'une « menace grave », la nécessité ou non d'imposer des mesures de sécurité et/ou de suivi ; la nécessité d'assainir) étant établies par unité spatiale d'analyse (zones récepteur éventuellement subdivisées par tache), l'expert veillera à globaliser les résultats de façon à déduire les conclusions d'ensemble qui s'imposent aux différentes échelles d'analyse pertinentes définies d'après le contexte et les objectifs spécifiques de l'étude (parcelle cadastrale, terrain constituée de plusieurs parcelles, partie de site, site).

L'expert proposera des objectifs minimum d'assainissement devant garantir l'absence de « menace grave » pour la santé humaine <sup>74</sup> pour toutes ces unités spatiales d'analyse pour lesquelles il aura conclu à l'existence d'une « menace grave » (et par conséquent à la nécessité d'assainir).

D'une façon générale, les objectifs d'assainissement seront exprimés en termes de concentration résiduelle en polluant (après assainissement) distinguées pour les couches de surface (0-1 m-ns) et de profondeur (> 1m-ns) et le cas échéant pour l'eau souterraine. Les concentrations résiduelles en profondeur (au-delà du premier mètre) pourront encore être distinguées pour différentes profondeurs dans le sol (par exemple mètre par mètre). Les concentrations dans la couche de surface (0-1m-ns) pourront éventuellement distinguer des concentrations dans la couche la plus superficielle (0-0,2m-ns) et dans la tranche inférieure (0,2-1m-ns).

Au stade de l'EDR-SH, les objectifs minimum d'assainissement seront spécifiquement définis pour le site et pourront être déduits de l'application des méthodes de l'EDR en procédant, le cas échéant, par itération (recherche pas à pas des concentrations maximum pour lesquelles les critères de « menace grave » ne sont pas rencontrés).

En outre, la règle additionnelle suivante est à respecter : lorsque les méthodes de l'EDR-SH aboutissent à la conclusion que les critères de « menace grave » sont rencontrés pour un polluant (plage rouge), alors l'objectif minimum d'assainissement pour ce polluant est fixé au moins au seuil de concentration qui correspond à un Indice de Risque – Seuil<sup>75</sup> (IR-S) égal à 1, signifiant – d'après le Modèle des Feux de Signalisation – le retour dans le domaine des risques acceptables (plage verte).

**A ce titre, dans le cadre de l'utilisation du logiciel RISC Human<sup>®</sup> v3.3, il y a lieu d'attirer l'attention sur le fait que la fonction « Soil Use Values » ne peut être utilisée pour la détermination des objectifs minimum d'assainissement. La raison principale s'explique par le fait que ce logiciel n'utilise qu'une seule valeur toxicologique pour le calcul des indices de risque.**

---

<sup>74</sup> Les objectifs minimum d'assainissement pour couvrir les risques santé humaine sont à combiner aux objectifs minimum d'assainissement établis pour la protection des eaux souterraines et, si pertinent, pour la protection des écosystèmes (cf. Partie A, § 5.4.1.4).

<sup>75</sup> Pour la signification du paramètre IR-S il y a lieu de se reporter à la partie B du GRER.

## 5. Conclusions et recommandations au terme de l'évaluation des risques pour la santé humaine

### 5.1 Conclusion globale de l'ESR-SH

A l'issue de l'ESR-SH, l'expert présentera ses conclusions et recommandations en distinguant celles relatives à la base d'évaluation actuelle et potentielle.

Si l'expert a pris en compte plusieurs scénarios (soit sur une même zone récepteur ; soit dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base potentielle), il séparera les conclusions relatives à chacun des scénarios retenus.

L'expert précisera dans ses conclusions :

- les unités spatiales d'analyse (zones récepteur) où les risques peuvent être déclarés acceptables (classe de risque 1). Pour chacune de ces unités, l'expert identifiera les polluants
  - qui ne génèrent pas de « menace grave » individuellement mais pour lesquels des mesures de sécurité et/ou de suivi sont recommandées (classe de risque 1b) ;
  - qui ne génèrent pas de « menace grave » mais qui génèrent des risques sur une base potentielle pour lesquels des mesures de sécurité et/ou de suivi sont préconisées ;La nature des mesures de sécurité et, le cas échéant, le contenu et l'objet des mesures de suivi seront précisés (cf. Partie A – point 5.6.2).
  
- les unités spatiales d'analyse (zones récepteur) pour lesquelles l'ESR-SH n'a pas pu démontrer l'absence de « menace grave » (hypothèse de « menace grave ») (classes de risque 2 et 3) et pour lesquelles l'expert doit se prononcer quant à la suite à donner :
  - si une EDR-SH est recommandée, l'expert
    - synthétisera pour chacune des unités spatiales d'analyse considérées (zones récepteur éventuellement encore subdivisées selon la configuration des zones ; taches de pollution) les polluants (normés et non normés) qui doivent être retenus dans le cadre de l'EDR-SH ;
    - définira les besoins en mesures de sécurité et/ou de suivi pour la protection de la santé humaine au terme de l'ESR dans l'attente de l'EDR ;
    - attribuera une classe de risque globale pour la santé humaine au terme de l'ESR-SH ;
  - si un projet d'assainissement est recommandé, l'expert précisera :
    - l'urgence de l'assainissement ainsi que les objectifs minimum d'assainissement (cf. Partie A – point 5.6.3) ;
    - les mesures de sécurité et/ou de suivi recommandées dans l'attente de l'assainissement (cf. Partie A – point 5.6.2).

Les unités spatiales seront également identifiées en référence à la (aux) parcelle(s) cadastrale(s) concernée(s).

## 5.2 Conclusion globale de l'EDR-SH

A l'issue de l'EDR-SH, l'expert présentera ses conclusions et recommandations en distinguant celles relatives à la base d'évaluation actuelle et potentielle.

Si l'expert a pris en compte plusieurs scénarios (soit sur une même zone récepteur ; soit dans le cadre de l'évaluation des risques sur une base potentielle), il séparera les conclusions relatives à chacun des scénarios retenus.

Si l'expert a réalisé l'EDR-SH sur la base d'un projet d'aménagement, il devra indiquer clairement les références de ce projet.

Il est recommandé de présenter les conclusions et les recommandations de l'EDR-SH par unité spatiale d'analyse (zones récepteur éventuellement subdivisées par tache de pollution) et en indiquant, par tache de pollution et pour l'entièreté de la zone récepteur (en ce qui concerne l'additivité des risques) :

- pour les polluants ne générant pas de « menace grave » (individuellement ou par additivité), les éventuelles mesures de sécurité et/ou de suivi recommandées ; la nature des mesures de sécurité et, le cas échéant, le contenu et l'objet des mesures de suivi seront également précisés (cf. Partie A – point 5.6.2) ;
- pour les polluants présentant une « menace grave » :
  - le niveau de risque encouru ;
  - l'urgence de l'assainissement (cf. Partie A – point 5.6.3) en tenant compte des niveaux de risques observés (et à la présence de cibles sur le site au moment de l'étude) et des mesures de sécurité préconisées pour réduire ces risques en attendant l'assainissement (cf. Partie A – point 5.6.2) ;
  - les objectifs minimum d'assainissement permettant de supprimer la « menace grave » (cf. 4.3.2.6).

L'expert rédigera ensuite une conclusion générale pour le site, intégrant les résultats de l'EDR-SH et de l'évaluation des risques pour les eaux souterraines (cf. partie C) et de l'évaluation des risques écotoxicologiques (cf. partie D).

### 5.3 Lignes directrices pour la rédaction du volet relatif à l'évaluation des risques pour la santé humaine

La structure du rapport de l'évaluation des risques sera adaptée selon le palier (ESR-SH ou EDR-SH) et sera intégrée dans le rapport de l'Etude de Risques (cf. Partie A – point 5.7. L'expert veillera cependant à inclure dans le rapport détaillé (pour le volet relatif à la santé humaine) au minimum les éléments suivants :

- un rappel des objectifs spécifiques de l'étude ;
- une synthèse des données exploitées dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé humaine ;
- la stratégie générale adoptée pour l'évaluation des risques ;
- les résultats de l'évaluation simplifiée des risques pour la santé humaine (ESR-SH) dans la mesure où celle-ci a été réalisée, c'est-à-dire :
  - les résultats de l'analyse préliminaire incluant
    - l'actualisation du MCS;
    - l'identification des zones récepteur;
    - la sélection et la justification des concentrations représentatives retenues (pour le sol et/ou les eaux souterraines et/ou d'autres milieux) ;
    - la sélection et la justification des scénarios retenus pour l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle ;
    - la vérification et la justification de l'applicabilité du MCS standard ;
  - la comparaison des concentrations représentatives aux valeurs limites applicables ;
  - l'interprétation des résultats en se référant aux principes méthodologiques décrits *supra* (cf. 4.2.2.3);
  - les conclusions générales de l'ESR-SH pour une base d'évaluation actuelle ;
  - les conclusions générales de l'ESR-SH pour une base d'évaluation potentielle ;
- les résultats de l'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine (EDR-SH), dans la mesure où celle-ci a été réalisée, soit:
  - le MCS (éventuellement actualisé)
  - les données et les paramètres nécessaires au calcul des doses d'exposition incluant
    - les données caractérisant les polluants identifiés au stade de l'ESR et retenus au stade de l'EDR ;
    - les données relatives à l'usage du site caractérisant les cibles et les voies d'exposition ;
    - la le/les scénario(s) d'exposition à retenir pour l'évaluation des risques sur une base actuelle et potentielle ;
  - l'interprétation des résultats en se référant aux principes méthodologiques décrits *supra* (cf. 4.3.2.5)
  - les conclusions générales de l'EDR-SH.
- les conclusions et les recommandations au terme de l'évaluation des risques pour la santé humaine. Cette section présentera les réponses finales de l'étude au regard de ses objectifs.

## 6. Glossaire

**Bioconcentration** : Résultat net de l'absorption, de la transformation et de l'élimination d'une substance dans un organisme, résultant d'une exposition via l'eau, le sol ou les aliments.

**Cancérogène** (ADEME, 2002) : Induction ou augmentation de la formation de lésions néoplasiques. Classiquement, on considère que la cancérogénèse s'effectue en trois étapes : initiation, promotion et progression.

**Disponibilité** : Mesure indiquant le potentiel d'une substance à se solubiliser ou à se désagréger. Pour les métaux, elle indique dans quelle mesure la partie ion métallique d'un composé métallique peut se détacher du reste du composé (molécule).

**Mécanisme d'action** (ADEME, 2002) : Processus par lequel les molécules toxiques interviennent au niveau des sites cellulaires et agissent sur des cibles moléculaires dont la nature chimique est variable. Les protéines de structure (membranes), les enzymes, les transporteurs comme l'hémoglobine, les coenzymes, les lipides, ou les acides nucléiques sont souvent atteints. En revanche, les sucres sont rarement affectés par les molécules toxiques.

**Métabolite** (ADEME, 2002) : Substance formée au cours du métabolisme (dégradation, transformation, ...) de la molécule initiale sans addition d'autre molécule. Le métabolite, contrairement au dérivé conjugué, peut conserver des propriétés toxiques.

**Mutagène** (ADEME, 2002) : Action qui se traduit par des mutations génétiques et/ou des modifications chromosomiques, les gènes se situant en un point précis d'un chromosome.

**Organe cible** (ADEME, 2002) : Les différents organes n'ont pas la même sensibilité aux molécules toxiques du fait de leurs particularités métaboliques. La concentration du produit et/ou de ses métabolites intervient au niveau des spécificités d'action. La concentration dans les organes-cibles résulte des différentes étapes envisagées : *absorption, distribution, biotransformation*. Par exemple, le foie et les reins, du fait de leur forte mobilisation sanguine, sont des sites de *distribution* importants. Le foie, site privilégié des *biotransformations*, est sensible à l'action d'un plus grand nombre de molécules toxiques : molécules initiales, métabolites, conjugués.

**Reprotoxique** : Toxique pour la reproduction, il peut en particulier affecter la fécondité et/ou la fertilité soit par une toxicité directe sur les gonades ou le système reproducteur, soit en induisant un comportement ne permettant plus la reproduction.

**Tératogène** : Agent susceptible de provoquer des malformations congénitales (c'est-à-dire des anomalies au niveau du développement embryonnaire). Les tératogènes sont des agents qui provoquent le développement de masses cellulaires anormales au cours de la croissance fœtale, provoquant des défauts physiques sur le fœtus.

## 7. Références bibliographiques

ADEME (2002). TOXON : manuel de toxicologie, 128 p.

Bonvallot, N., Dor, F. (2002). Valeurs toxicologiques de référence : méthodes d'élaboration. InVS, 84 p.

BURGEAP et al. (2005). CIDISIR – Quantification des cinétiques de dissolution sur sites réels (hydrocarbures pétroliers et dérivés halogénés), guide méthodologique, 74 p.

INERIS (2003) Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE – Substances chimiques.

INERIS (2005-a). Méthodologie (fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques), rapport INERIS-DRC-01-25590-99dh283.doc, 41 p.

INERIS (2005-b). Mesure de la bioaccessibilité du plomb pour l'homme à l'aide de deux tests (IVG et RIVM) couplée à l'étude de la spéciation, rapport INERIS-DRC-67649-01a du 8/11/2005, 45 p.

INERIS (2009). Assistance dans le cadre de la finalisation des cahiers de Bonnes Pratiques relatifs au "décret sols" en Région wallonne, et plus particulièrement de la section relative à « l'évaluation quantitative des risques pour la santé humaine » du Cahier de Bonnes Pratiques n°5 (Partie B) « Evaluation des risques pour la santé humaine ». Rapport d'étude INERIS DRC-09-106207-10196C – Rapport final de décembre 2009. [ce rapport est consultable à l'Annexe B2-1 du CBP n° 5 de la SPAQuE, 2010]

Lawrence, S.J. (2006). Description, properties and degradation of selected volatile organic compounds detected in ground water- a review of selected literature : Atlanta, Georgia, U.S. Geological Survey, Open-file report 2006-1338, 62 p., a web-only publication at <http://pubs.usgs.gov/ofr/2006/1338/>.

Lefebvre, R. (2006). Chapitre 3 – Propriétés des polluants immiscibles et partition dans les systèmes multiphasés. p.84-122

Ministère de l'Environnement et du Développement Durable-MEDD (2007). La démarche d'interprétation de l'Etat des Milieux, 41 p.

Otte, P.F., Lijzen, J.P.A., Otte, J.G., Swartjes, F.A. & Versluijs, C.W. (2001). Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. Proposed parameter set for human exposure modelling and deriving Intervention Values for the first series of compounds. RIVM, report n°711701021, Bilthoven, The Netherlands

Sips, A.J.A.M., Eijkeren, J.C.H. (1996). Oral bioavailability of heavy metals and organic compound from soils : too complicated to absorb ? An inventerisation of factors affecting bioavailability of environmental contaminants from soil. RIVM report 711701002.

TPHCWG (1999), Human health risk-based evaluation of petroleum release sites : implementing the Working Group Approach, volume 5, ISBN 1-884-940-12-9, 60 p.

US-EPA. (1998). Technical protocol for evaluating natural attenuation of chlorinated solvents in groundwater. Report EPA/600/R-98/128, 248 p.

US-EPA. (2000). BIOCHLOR : Natural attenuation decision support system – User's manual – version 1.0. Report EPA/600/R-00/008, 54 p.

US-EPA. (2004). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)-Final – Report EPA/540/R/99/005, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC.

Verschueren, K. (1996). Handbook of environmental data on organic chemicals. 3rd edition. Van Nostrand Reinhold - ITP company, New-York, U.S.A, 2064 pp.

## 8. ANNEXES